

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – UNESC

BÁRBARA FRECCIA

**AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE E FITOTOXICIDADE DAS ÁGUAS DO RIO
URUSSANGA ANTES E APÓS O TRATAMENTO COM SEDIMENTO GERADOS
EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE DE MINERAÇÃO DE CARVÃO**

CRICIÚMA, 2011.

BÁRBARA FRECCIA

**AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE E FITOTOXICIDADE DAS ÁGUAS DO RIO
URUSSANGA ANTES E APÓS O TRATAMENTO COM SEDIMENTO GERADOS
EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE DE MINERAÇÃO DE CARVÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel no Curso de Ciências Biológicas da Universidade Extremo Sul Catarinense – UNESC.

Orientadora: Prof.^a MSc. Miriam da Conceição Martins.

CRICIÚMA, 2011.

BÁRBARA FRECCIA

**AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE E FITOTOXICIDADE DAS ÁGUAS DO RIO
URUSSANGA ANTES E APÓS O TRATAMENTO COM SEDIMENTO GERADOS
EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE DE MINERAÇÃO DE CARVÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel no Curso de Ciências Biológicas da Universidade Extremo Sul Catarinense – UNESC.

Orientadora: Prof.^a MSc. Miriam da Conceição Martins.

Criciúma, 23 de novembro de 2011.

BANCA EXAMINADORA

MSc. Miriam da Conceição Martins – Bióloga – (UNESC) - Orientadora

MSc. Jacira Silvano – Bióloga – (IPAT/UNESC)

MSc. Maria Julia Frydberg Correa Angeloni – Bióloga – (UNESC)

*Dedico esse trabalho aos meus pais
Leoberto e Roselane, que sem o
esforço deles eu não teria a
oportunidade de realizar este
trabalho com sucesso.*

AGRADECIMENTOS

A Deus que me deu sabedoria e discernimento para conduzir esse trabalho

Aos meus pais Leoberto Freccia e Roselane Teresinha Rech Freccia e minha irmã Fernanda Freccia, pelo apoio, atenção e paciência que tiveram comigo durante todo este percurso e sempre com amor dando todo apoio que eu precisava. Obrigada por tudo amo vocês.

A minha querida avó Terezinha Silvestre Rech (in memoriam) que sempre me deu todo o apoio quando comecei o curso. Sempre te amarei.

Ao professor Reginaldo Geremias por permitir a realização desse trabalho e por me ajudar e tirar minhas dúvidas.

A Professora Miriam da Conceição Martins que aceitou ser minha orientadora. Obrigada pela atenção.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa em Imunologia e Genética: Rosana Antônio Madeira, Tamires Manganelli Defaveri, Eduardo Netto, e Wagner Ariati pela ajuda sempre que necessária.

A Fernanda Zanette da Silveira que me ajudou desde o começo deste trabalho, tirando minhas dúvidas. Obrigada.

A Tuane Pontes pela ajuda neste trabalho, pelas dúvidas tirada. Obrigada por tudo.

Em especial para minhas queridas amigas Ariana De Bona, Maiara da Silva Francisconi e Melise Furlan, que estiveram comigo desde o começo da faculdade me apoiando em tudo, me aturando, e principalmente tendo paciência. Amo vocês.

A todas as ``amegas`` que em todos os momentos estavam ali prontas para ajudar , e sempre com alegria e divertimento. Obrigada a todas.

Minha querida amiga Cibele Ceron que sempre me apoiou em tudo e me aturou ao longo de tantos anos de amizade, nos momentos mais difíceis de minha vida. Te amo.

Agradeço a todas as pessoas citadas a cima por cruzarem meu caminho e que me fizeram mais feliz. Se certos amigos nos mostram que o mundo ainda é bom, por saber, Que tendo você do meu lado me sinto mais forte.

RESUMO

A região carbonífera do Sul de Santa Catarina é uma das regiões mais afetadas pela poluição que provem da mineração de carvão, tal poluição acarreta em um grande impacto ambiental nos rios da Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga, dentro deste contexto se encontra o Rio Urussanga, um dos rios mais poluídos da região, com concentração significativa de metais pesados e uma acidez relevante. A fim de melhorar a qualidade ambiental da região e principalmente do deste rio, este estudo propõe testes que permite verificar a qualidade da água, utilizando bioindicadores como *Artemia* sp e *Allium cepa* L., tendo como objetivo avaliar a toxicidade e fitotoxicidade das águas do rio 7(Urussanga/SC) antes e após o tratamento com sedimentos gerados em estação de tratamento de efluente de mineração de carvão. Através de metodologias empregadas, tais como, teste de toxicidade aguda em microcrustáceos *Artemia* sp. e testes de fitotoxicidade em *Allium cepa* L. utilizando sedimentos gerados em estação de tratamento de efluentes . Os resultados obtidos indicaram que houve eficiência no tratamento da água, permitindo o desenvolvimento dos bioindicadores com alto índice significativo.

Palavras-chave: Rio Urussanga, Sedimento Calcinado, Toxicidade, Fitotoxicidade e Mineração de Carvão.

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Representação da escala do pH de ácido a base. Fonte: Arbitrat.....	17
Figura 2. Cadeia trófica. Fonte: Autor.....	20
Figura 3. Microcrustáceo <i>Artemia</i> sp. Fonte: Kribensis.....	21
Figura 4. <i>Allium cepa</i> L. Fonte: Nutrição em foco.....	22
Figura 5. Localização geográfica do Município de Urussanga.....	24
Figura 6. Rio Urussanga (Urussanga SC, Freccia, 2009).....	25
Figura 7. Esquema simplificado da preparação e execução do Teste de toxicidade aguda com <i>Artemia</i> sp. Fonte: Freccia, 2010.....	26
Figura 8. Esquema simplificado da preparação e execução Teste de inibição do crescimento de raízes em <i>Allium cepa</i> L. Fonte: BORTOLOTTI, 2007.....	27
Figura 9. Índice de Letalidade expresso em porcentagem. Toxicidade aguda em microcrustáceos <i>Artemia</i> sp. Antes e após o tratamento com sedimentos gerados em estação de tratamento de efluente de mineração de carvão.....	29
Figura 10. Testes de Fitotoxicidade em <i>Allium cepa</i> L – Diferença peso do bulbo. Assumindo como nível de significância $p<0,05$, $p<0,01$, $p<0,001$, respectivamente (#) (##) (###), comparados ao grupo não tratado.....	30
Figura 11. Testes de Fitotoxicidade em <i>Allium cepa</i> L – Numero médio de raízes. Assumindo como nível de significância $p<0,05$, $p<0,01$, $p<0,001$, respectivamente comparados ao grupo tratado (#) (##) (###);e grupo não tratado (*), (**), (***) quando comparado ao não tratado e ao grupo controle respectivamente.....	31
Figura 12. Testes de Fitotoxicidade em <i>Allium cepa</i> L – Peso medio de raízes. Assumindo como nível de significância $p<0,05$, $p<0,01$, $p<0,001$	31
Figura 13. Testes de Fitotoxicidade em <i>Allium cepa</i> L – Tamanho médio de raízes. Assumindo como nível de significância $p<0,05$, $p<0,01$, $p<0,001$, respectivamente comparados ao grupo tratado (#) (##) (###);e grupo não tratado (*), (**), (***) quando comparado ao não tratado e ao grupo controle respectivamente.....	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVOS.....	12
2.1 Objetivo geral.....	12
2.2 Objetivos Específicos.....	12
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
3.1. Poluição das águas.....	13
3.2 Mineração de carvão.....	14
3.2.1 Metais pesados.....	14
3.2.2pH.....	17
3.2.3 Legislação.....	18
3.3 Sedimentos gerados por Estação de Tratamento de Efluente.....	18
3.4 Toxicologia ambiental.....	19
3.5 Bioindicadores.....	20
3.5.1 Artemia sp.....	21
3.5.2 Allium cepa L.....	22
4 METODOLOGIA.....	24
4.1 Localização do estudo.....	24
4.2 Coleta e calcinação do sedimento.....	25
4.3 Coleta de água.....	25
4.4 Tratamento das águas.....	25
4.5 Toxicidade aguda em microcrustáceos Artemia sp.....	26
4.6 Testes de Fitotoxicidade em Allium cepa L.....	26
4.7 Análise estatística.....	27
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	28
5.1 Análise do pH.....	28
5.2 Toxicidade aguda em microcrustáceos Artemia sp.....	28
5.3 Fitotoxicidade em Allium cepa L.....	30
6 CONCLUSÃO.....	34
REFERÊNCIAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

O carvão mineral em território catarinense teve seu início no século XIX, sendo que, atualmente, o Estado é um dos maiores produtores de carvão mineral em nível nacional, onde a bacia carbonífera sul-catarinense constitui uma das mais importantes, pois encerra as maiores reservas de carvão metalúrgico economicamente explorável (SIECESC, 2002).

Muito embora a mineração de carvão seja uma importante atividade econômica da região sul de Santa Catarina, a mesma tem acarretado problemas ambientais, através da deposição inadequada dos resíduos da mineração e perda do solo fértil, da contaminação dos recursos hídricos, bem como, de alterações na atmosfera pela geração de gases e poeiras (TEIXEIRA; PIRES, 2002).

Dentre os contaminantes provenientes da mineração, encontram-se as drenagens ácidas de mina, os quais apresentam expressiva acidez ($\text{pH} < 3,0$) e elevada concentração de metais, principalmente, ferro, manganês, alumínio, cobre, cádmio e zinco (TURNER; RAWLING; 2002; GEREMIAS *et al.*, 2003).

Estes contaminantes são capazes de atingir os mananciais hídricos e provocar diversos efeitos deletérios aos organismos aquáticos e até a morte da biota por distúrbio respiratório e osmoregulatório, comprometendo a cadeia alimentar, com conseqüente diminuição ou extinção das espécies que dependem do mesmo para sobreviver (RIDGE; SEIF, 1998).

Em plantas, a exposição a metais é capaz de provocar diversos efeitos fitotóxicos, tais como: alterações estruturais, fisiológicas e bioquímicas de membranas, com conseqüentes distúrbios na sua composição, rigidez, fluidez, fluxo de água e de nutrientes; redução de crescimento de tecidos, do diâmetro basal e da biomassa; distúrbios do ciclo celular e da divisão celular; redução do conteúdo de clorofila e distúrbio do processo de fotossíntese; genotoxicidade; indução de estresse oxidativo (ARUN *et al.*, 2005; TAMÁS *et al.*, 2006).

Dentre mananciais atingidos pelos contaminantes oriundos da atividade carbonífera, encontra-se o Rio Urussanga (Município de Urussanga/SC), o qual pertence à Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga.

Além do comprometimento da qualidade das águas e do solo, diversas comunidades vivem próximas à região, sendo potencialmente submetidas aos riscos de contaminação. Entretanto, apesar da problemática em questão, atualmente são poucos os

estudos de avaliação dos efeitos causados pela mineração de carvão junto àquele ambiente e de alternativas de tratamento das águas atingidas pela atividade carbonífera.

Neste contexto, a utilização de óxidos obtidos por processo de calcinação de sedimentos oriundos de estação de tratamento de efluentes pode ser uma alternativa de tratamento das águas do Rio Urussanga (PASCOAL, 2000; DOYE; DUCHESNE, 2003).

Para uma melhor avaliação da eficácia de tratamento das águas do Rio Urussanga podem ser empregados ensaios de toxicidade em organismos bioindicadores e, para tanto, tem-se indicado teste de toxicidade aguda em microcrustáceos e fitotoxicidade em plantas (SVENSSON *et al.*, 2005; SAURABH *et al.*, 2005).

Trabalhos na literatura têm sugerido o uso de microcrustáceos *Artemia* sp. para a avaliação da toxicidade de efluentes industriais, incluindo-se os de elevada acidez e de expressivas concentrações de metais. Também se tem proposto o uso de *Allium cepa* L. (cebola) como organismo bioindicador de aplicação ecotoxicológica para a avaliação de ambientes contaminados, podendo ser avaliados diversos parâmetros fitotóxicos, tais como, bioacúmulo de contaminantes em diferentes tecidos (raízes, folhas e bulbos), inibição de crescimento tecidual (raízes, folhas e bulbos), efeitos citogenéticos e mutagênicos, entre outros (SILVA, 2002; FATIMA; AHMAD, 2006).

Desta forma, pode-se propor a utilização de teste toxicidade aguda em *Artemia* sp. e fitotoxicidade em *Allium cepa* L. para melhor avaliação do sistema de tratamento das águas do Rio Urussanga utilizando o sedimento originados em estação de tratamento de efluentes. A expectativa é de que o presente estudo contribua significativamente para uma melhor entendimento dos efeitos da mineração de carvão sobre o Rio em estudo, bem como, para a execução de futuros programas de monitoramento da região.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a toxicidade e fitotoxicidade das águas do Rio Urussanga (Urussanga/SC) antes e após o tratamento com sedimentos gerados em estação de tratamento de efluente de mineração de carvão.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a toxicidade aguda em microcrustáceo *Artemia* sp. expostos às águas do Rio Urussanga antes e após tratamento com o sedimento calcinado;
- Avaliar a fitotoxicidade em *Allium cepa* L. (cebola) expostas às águas do Rio Urussanga antes e após tratamento com o sedimento calcinado;
- Avaliar a possível utilização do sedimento calcinado, a partir de testes de toxicidade, como uma alternativa para o tratamento das águas do Rio Urussanga.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Poluição das águas

A qualidade das águas no nosso ecossistema tem sido alterada em diferentes escalas nas últimas décadas. Isto desencadeado pela complexidade dos usos múltiplos da água pelo homem, os quais acarretaram em degradação ambiental significativa e diminuição considerável na disponibilidade de água de qualidade, produzindo inúmeros problemas ao seu aproveitamento (PEREIRA, 2004).

A região carbonífera do sul de Santa Catarina dispõe de órgãos que tem interesse na melhoria da qualidade ambiental da região, tais como a SATC – Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina, que desenvolve inúmeras atividades técnicas relacionadas ao meio ambiente, através do CTCL – Centro Tecnológico do Carvão Limpo, tais programas são voltados para a recuperação ambiental da Bacia Carbonífera de Santa Catarina – Brasil, os quais incluem monitoramentos ambientais de água subterrânea e superficial; estudo e monitoramento da flora e fauna; mapeamento de áreas degradadas pela mineração e suas validações posteriores; levantamento e cadastramento de bocas de minas abandonadas e suas relações com o meio, principalmente nos aspectos de segurança, drenagem ácida e recarga de aquíferos subterrâneos com água contaminada por metais pesados; medições sistemáticas de vazão de águas superficiais e subterrâneas, etc (AMARAL;KREBS, [2003-2008]).

O Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga é um dos outros órgãos que tem como objetivo o desenvolvimento sustentável, interagindo com as universidades e outros setores, propondo uma melhora na qualidade ambiental da região, bem como tem proposto como um dos seus recursos a educação ambiental, que faz deste uma ferramenta estratégica e bem empregada no combate a poluição ambiental.

A Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, define a poluição como, a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que, direta ou indiretamente: prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; afetem desfavoravelmente a biota; afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; ou lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos (BRASIL, 1981).

Segundo Silva (2010), as fontes de poluição provenientes da atividade do homem compreendem os esgotos domésticos, despejos industriais e agropastoris e resíduos sólidos, entre outros.

Dentre eles a poluição causada pelas indústrias carboníferas que contribuem com um despejo com grande quantidade de metais pesados, resultando em alta toxicidade nas águas afetadas.

O Rio Urussanga é um dos rios mais afetados por esse fator, quando o valor do pH do rio é extremamente baixo, impedindo a reprodução de fauna e flora e também diminuindo gradativamente a qualidade da água do rio.

3.2 Mineração de carvão

A extração de carvão mineral no Brasil é a atividade econômica de importância apenas regional, seja pela qualidade do carvão brasileiro, seja por sua ocorrência restrita, estando os maiores depósitos localizados nos três estados da região sul do país. Assim, o Rio Grande do Sul possui as maiores reservas, enquanto Santa Catarina lidera em termos de produção (MILIOLI; SANTOS; CITADINI-ZANETTE, 2009).

A exploração do carvão em Santa Catarina é feita em minas subterrâneas e a céu aberto, processos estes que acarretam problemas ambientais, pois modificam a estrutura do meio natural, pela disposição inadequada dos resíduos da mineração, causando contaminação de águas superficiais e subterrâneas, promovendo alterações na atmosfera ao redor das minas pela geração de gases e poeiras e perdas de solo fértil, conseqüentemente afetando os rios, tanto pelo despejo a céu aberto, como pelo escoamento subterrâneo e superficial (NETTO, 2010).

Milioli, Santos, Citadini-Zanette e colaboradores (2009) apontam que, efluentes da drenagem ácida de mina de carvão (DAM), normalmente possuem o pH baixo e elevadas concentrações de metais e sulfatos, portanto apresentam toxicidade a bioindicadores como *Allium cepa* L. e *Artemia* sp bastante acentuada.

3.2.1 Metais pesados

Metais pesados são aqueles cuja densidade relativa apresenta-se maior que quatro, estando relacionados à contaminação e a alto caráter tóxico (FERREIRA; HORTA; CUNHA, 2010). Os mesmos autores apontam que, nos últimos anos, efeitos tóxicos de metais pesados em organismos vivos, principalmente como resultado da sua contínua mobilização antropogênica no ambiente, têm atraído considerável atenção mundial.

Além de que questões relacionadas à contaminação e poluição dos ambientes aquáticos tem sido uma crescente preocupação não somente graças às freqüentes ocorrências de inúmeros compostos orgânicos e inorgânicos, contendo metais pesados nos compartimentos bióticos e abióticos, mas principalmente pelos seus efeitos deletérios à biota dos ecossistemas e a saúde dos consumidores, quando em concentrações elevadas (MENESES, 2008).

A solubilidade dos metais pesados nos corpos hídricos é função do pH ocorrente. Na região carbonífera de Santa Catarina existem numerosas DAM com pH verificado entre 1,5 até 3,0 o que por si só explica a grande quantidade de metais dissolvidos nestas águas. (AMARAL; KREBS, [2003-2008]).

O termo metais pesados é usado correntemente para identificar um grupo bastante numeroso de elementos-traço com densidade atômica superior a 6 g/cm. Reunindo referências diversas sobre o assunto, obtém-se uma lista de 21 elementos químicos: Alumínio (Al), Bário (Ba), Berilo (Be), Cádmio (Cd), Cromo (Cr), Cobalto (Co), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Estanho (Sn), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Molibdênio (Mo), Níquel (Ni), Ouro (Au), Prata (Ag), Selênio (Se), Tálcio (ti), Urânio (U), Vanádio (V) e Zinco (Zn) (MANOEL, 2009).

Na tabela 1 apresentam-se alguns dos metais pesados e seus efeitos no ser humano e na biota.

Tabela 1. Metais pesados e seus efeitos (continua)

METAL	SÍMBOLO	DENSIDADE	EFEITOS
Bário	Ba	3,5 g.cm ³ a 20°C	Alguns dos compostos liberados durante os processos industriais dissolvem-se facilmente na água e são encontrados em lagos, rios e riachos, podendo se acumular nos tecidos de peixes e outros organismos aquáticos; A ingestão de bário, em doses superiores às permitidas, pode causar desde um aumento transitório da pressão sangüínea, por vasoconstrição, até sérios efeitos tóxicos sobre o coração.

Tabela 1. Metais pesados e seus efeitos

(continuação)

METAL	SÍMBOLO	DENSIDADE	EFEITOS
Cádmio	Cd	8,7 g.cm ³ a 20°C	O cádmio é um elemento de vida biológica longa (10 a 30 anos) e de lenta excreção pelo organismo humano. O órgão alvo primário nas exposições ao cádmio à longo prazo é o rim. Os efeitos tóxicos provocados por ele compreendem principalmente distúrbios gastrointestinais, após a ingestão do agente químico. A inalação de doses elevadas produz intoxicação aguda, caracterizada por pneumonite e edema pulmonar; O cádmio possui uma grande mobilidade em ambientes aquáticos; é bioacumulativo, isto é, acumula-se em organismos aquáticos podendo, assim entrar na cadeia alimentar; é persistente no ambiente;
Cromo	Cr	7.1 g.cm ³ a 20°C	O cromo acumula-se com frequência em organismos aquáticos, tornando perigosa a ingestão de peixes que tenham sido expostos a altos níveis do elemento; A acidificação do solo pode também influenciar a absorção de cromo pelas plantas; Os compostos de cromo produzem efeitos cutâneos, nasais, bronco-pulmonares, renais, gastrointestinais e carcinogênicos.;Carcinogênico na forma hexavalente;
Cobre	Cu	8,9 g.cm ³ a 20°C	Doses excessivamente altas podem provocar irritação e corrosão de mucosas, danos capilares generalizados, problemas hepáticos e renais e irritação do sistema nervoso central seguido de depressão;Para os peixes, muito mais que para o homem, as doses elevadas de cobre são extremamente nocivas;No home causa Vômitos, hipotensão, icterícia, coma e morte;
Ferro	Fe	7,8 g.cm ³ a 20°C	Pode causar conjuntivite, coroidite e retinite. Inalação crônica e excessiva de vapores de ferro podem causar siderose (pneumoconiose benigna). Inalação de óxidos de ferro concentrados pode aumentar o risco de câncer de pulmão. Ferro(III)-O-arsenito, pentahidrato pode causar danos ambientais (a plantas, ar e água), sendo persistente no ambiente.
Mercúrio	Hg	13,6 g.cm ³ a 20°C	A biotransformação por bactérias do mercúrio inorgânico ametilmercúrio é o processo responsável pelos elevados níveis do metal no ambiente; Lesões cerebrais; A exposição a elevadas concentrações desse metal pode provocar febre, calafrios, dispnéia e cefaléia,durante algumas horas. Sintomas adicionais envolvem diarreia, câibras abdominais e diminuição da visão;
Manganês	Mn	7,43 g.cm ³ a 20°C	Os sintomas dos danos provocados pelo manganês no SNC podem ser divididos em três estágios: 1º:subclínico (astenia, distúrbios do sono, dores musculares, excitabilidade mental e movimentos desajeitados); 2º: início da fase clínica (transtorno da marcha, dificuldade na fala, reflexos exagerados e tremor), e 3º: clínico (psicose maníaco-depressiva e a clássica síndrome que lembra o Parkinsonismo).;Lesões cerebrais, danos aos testículos e impotência; Em vegetais, íons de manganês são transportados para as folhas, após absorção do solo. Absorção muito pequena causa distúrbios no desenvolvimento vegetal.
Níquel	Ni	8,9 g.cm ³ a 20°C	Assim como para outros íons metálicos, é possível mencionar que, em soluções diluídas, estes elementos podem precipitar a secreção da mucosa produzida pelas brânquias dos peixes, que morrem por asfixia. Altos teores no corpo humano podem provocar câncer de pulmão, nariz, laringe e próstata, embolia pulmonar, tonteadas, náuseas, defeitos congênitos, asma e bronquite, desordens cardíacas e reações alérgicas (“coceira do níquel”).

Tabela 1. Metais pesados e seus efeitos

(conclusão)

METAL	SÍMBOLO	DENSIDADE	EFEITOS
Chumbo	Pb	11,34 g.cm ³ a 20°C	Afeta o metabolismo do cálcio, inibindo sistemas enzimáticos e alterações neurológicas; Compostos de chumbo são absorvidos por via respiratória e cutânea; O sistema nervoso, a medula óssea e os rins são considerados órgãos críticos para o chumbo;
Zinco	Zn	7,11 g.cm ³ a 20°C	Adstringência e coloração empalidecida (acima de 3µg.mL ⁻¹); Pode aumentar a acidez das águas. Pode se acumular em peixes, podendo se bioacumular e se magnificar na teia alimentar; Zinco em excesso pode causar dores de estômago, irritações de pele, vômitos, náusea, anemia, danos ao pâncreas, distúrbios no metabolismo de proteínas e arteriosclerose. Exposição prolongada ao cloreto de zinco pode causar desordens respiratórias. Exposição ocupacional pode causar a “febre do metal”. Atravessa a barreira placentária, podendo causar problemas ao feto e no recém-nascido, através do leite materno contaminado.
Prata	Ag	10,49 g.cm ³ a 20°C	A dose letal para o homem é de 10 g como nitrato de prata.
Selênio	Se	4,79 g.cm ³ a 20°C	É tóxico tanto para o homem quanto para os animais. Provoca a chamada doença alcalina no gado, cujos efeitos são permanentes. Aumenta e incidência de cáries dentárias e suspeita-se que seja potencialmentecarcinogênico, de acordo com os resultados de ensaios feitos com cobaias.

Fonte: Adaptado de Netto (2010); Castro (2006).

3.2.2 pH

O pH ou potencial hidrogeniônico pode ser entendido como a concentração de íons hidrogênio H⁺, indicando a acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma solução líquida. A escala de pH é constituída de números que variam de 0 a 14. Um valor de pH 7 indica uma solução neutra, sendo que índices maiores que 7 são básicos e os abaixo de 7 são considerados ácidos (SILVA, 2008).

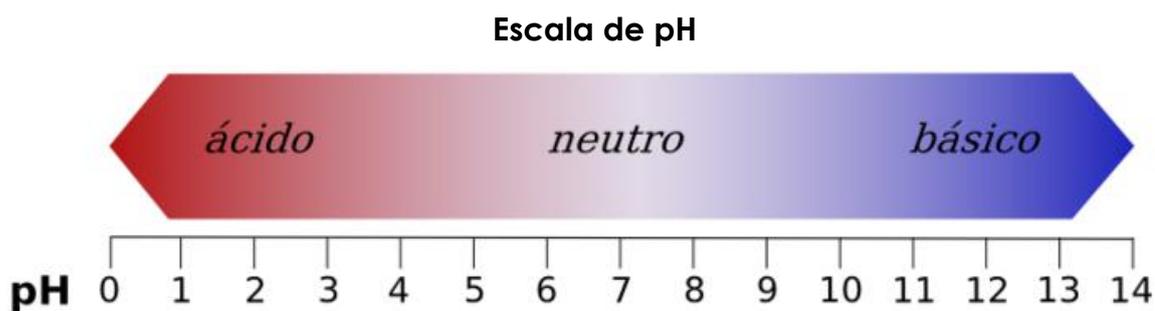


Figura 1. Representação da escala do pH de ácido a base. Fonte: Arbitrat.

Além do pH a coloração é outro fator aparentemente visível na água, quando tal possui substâncias tóxicas.

3.2.3 Legislação

A Lei prevê requisitos aos empreendedores, a implantação de empresas carboníferas, depende também da aprovação dos órgãos competentes da região.

A Lei nº 6.803, de 2 de julho de 1980. Dispõe sobre as diretrizes básicas para o zoneamento industrial nas áreas críticas de poluição, e dá outras providências.

Art . 9º O licenciamento para implantação, operação e ampliação de estabelecimentos industriais, nas áreas críticas de poluição, dependerá da observância do disposto nesta Lei, bem como do atendimento das normas e padrões ambientais definidos pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente, pelos organismos estaduais e municipais competentes, notadamente quanto às seguintes características dos processos de produção: I - emissão de gases, vapores, ruídos, vibrações e radiações; II - riscos de explosão, incêndios, vazamentos danosos e outras situações de emergência; III - volume e qualidade de insumos básicos, de pessoal e de tráfego gerados; IV - padrões de uso e ocupação do solo; V - disponibilidade nas redes de energia elétrica, água, esgoto, comunicações e outros; VI - horários de atividade (BRASIL, 1980).

Porém como as atividades carboníferas se deram na região a partir do século XIX, visto pela lei, as indústrias deveriam ter planejamento, operação e principalmente a construção de estudo de impacto ambiental, tanto para construção quanto para o despejo de dejetos e outros fatores, então naquela época os órgãos responsáveis pela fiscalização não estavam ativos ou a lei não era tão forte quanto hoje.

Embora ainda esteja presente essa poluição nos rios, derivadas do passado, hoje a legislação é rígida quanto a implantação de novos empreendimentos, a lei exige que seja feito um estudo de impacto ambiental antes da implantação e pode também não aprovar a implantação, porém ainda existem implantações clandestinas.

3.3 Sedimentos gerados por Estação de Tratamento de Efluente.

Buscando uma melhoria ao meio ambiente, as empresas hoje têm tentado diminuir os impactos causados ao ecossistema, através da reciclagem, da reutilização, e da redução, como por exemplo, o sedimento tratado em Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) utilizado neste estudo.

Em geral, o tratamento destas drenagens em Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) é feita através de uma pré-correção de pH, com posterior utilização de resinas iônicas, colunas de filtração, processos de adsorção, coagulação, floculação e flotação para remoção de metais. Contudo, na etapa de pré-correção de pH das drenagens em ETE são formados sedimentos decorrentes da precipitação de metais, os quais, em muitos casos, não são aproveitados economicamente, sendo depositados no meio ambiente de forma inadequada, vindo comprometer a qualidade do ambiente de vida, havendo a necessidade de se dar um destino aos mesmos (VAN RENSBURG; MORGHENTAL, 2003).

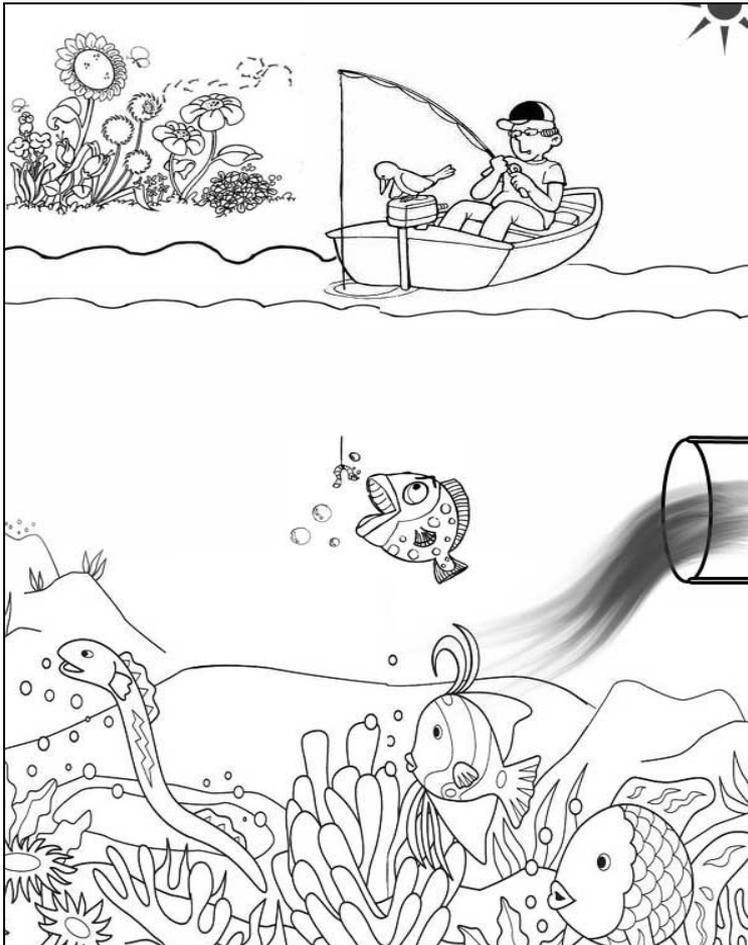
Segundo Netto (2010), estes sedimentos, em muitos casos, não são aproveitados economicamente, sendo depositados no meio ambiente de forma inadequada. Desta forma, faz-se necessária a busca de novas tecnologias de remediação, utilizando-se materiais de baixo custo e com melhor capacidade de remoção dos poluentes.

A utilização desse sedimento pode então minimizar os impactos causados pela empresas carboníferas que depositam rejeitos contendo metais pesados no Rio Urussanga.

3.4 Toxicologia ambiental

A toxicologia ambiental é a área onde se estuda os efeitos nocivos causados a um organismo vivo pelas substâncias químicas presentes no ambiente. Esta ciência tem estudado as ligações entre a exposição do ambiente a agentes e seus efeitos nas populações e ecossistemas, analisando assuntos como: declínio populacional; problemas reprodutivos; toxicidade aguda e a deposição de contaminantes da cadeia trófica (MANOEL, 2009).

No estado de Santa Catarina a portaria 017/02 da Fundação do Meio Ambiente (FATMA) estabelece limites de toxicidade máximos para os efluentes de diversas atividades, empregando como bioindicadores microcrustáceo *Daphnia magna* e a bactéria *Vibrio fischeri*. Além de dispor no Art 1º, que substâncias existentes no efluente não poderão causar ou possuir potencial causador de efeitos tóxicos capazes de provocar alterações no comportamento e fisiologia dos organismos aquáticos presentes no corpo receptor (MILIOLI; SANTOS; CITADINI-ZANETTE, 2009).



O despejo de efluentes tóxicos altera a qualidade da água, que conseqüentemente afeta os organismos que habitam o rio, essa contaminação acaba chegando ao ser humano afetando a sua saúde.

Figura 2. Cadeia trófica. Fonte: Autor

3.5 Bioindicadores

Estudos científicos nesses níveis utilizam parâmetros biológicos para avaliar um ambiente, sendo que presa a pesquisa pelo indicador ideal (ou bioindicador) cuja presença, abundância, e/ou comportamento refletem os efeitos estressores sobre a biota. Um indicador pode ser utilizado para biomonitorar em diferentes níveis de organização, desde o nível sub-organizacional (p.ex. genes, células, tecidos) a organismos e populações, comunidades, e até mesmo ao nível de ecossistemas (CALLISTO; MORENO, 2006).

Segundo Furlan (2008) a utilização de técnicas como o biomonitoramento permitem avaliar mudanças no meio ambiente de origem antrópica através do acompanhamento de reações específicas de alguns organismos.

O mesmo autor ainda complementa citando, como vantagens na utilização de bioindicadores, permite a avaliação de riscos impostos por poluentes em ecossistemas, detectar níveis crônicos ou agudos de contaminação do ar, integrar fatores externos

demonstrando efeitos sinérgicos e aditivos, ampliação da área monitorada além de possuir baixo custo principalmente quanto à vegetação.

Em geral, os organismos bioindicadores são utilizados em metodologias cujo objetivo é testar a sua sobrevivência, e para este propósito, tem-se indicado teste de toxicidade aguda em microcrustáceos (ex.: *Artemia* sp.) e fitotoxicidade (ex.: *Allium cepa* L.), além de outros organismos como bactérias, fungos e animais (NETTO, 2010).

3.5.1 *Artemia* sp.

Artemia sp é um crustáceo da ordem Anostraca (sem carapaça) que vive em lagos de água salgada e salinas de todo o mundo, estando adaptada para sobrevivência em corpos de água que sofrem grandes variações sazonais, podendo tolerar salinidades que flutuam de 3,5 a 70%.

Segundo Carvalho *et al.* (2007), a *Artemia* sp. é um dos mais completos alimentos para a aquarofilia, rico em proteínas, sais minerais e se alimenta basicamente de algas e microrganismos. Sua aplicabilidade se dá pelo fato de ser um organismo de fácil aquisição, de desenvolvimento rápido e de fácil manuseio.

A *Artemia* sp. é reconhecida internacionalmente como organismo-teste e é amplamente indicada para testes toxicológicos visto a sua sensibilidade elevada, fornecendo resposta biológica num período relativamente curto. É um organismo de fácil manutenção e eclosão e boa reprodutividade em laboratório e os procedimentos com este organismo são simples e de baixo custo (SILVA, 2008).



Figura 3. Microcrustáceo *Artemia* sp. Fonte: Kribensis

A avaliação da toxicidade aguda sobre *Artemia* sp. pode ser feita através da determinação da CL50 (Concentração Letal Média), definida como a concentração na qual ocorre a mortalidade em 50% deste organismo, quando expostos a diferentes concentrações de determinado contaminante (BORGES, 2009).

Então foi proposto a utilização da *Artemia* sp. como bioindicador da qualidade da água do rio antes e depois do tratamento com o sedimento gerado da ETE.

3.5.2 *Allium cepa* L.

Allium cepa L. vem sendo utilizada desde 1983 em testes biológicos para avaliação dos efeitos citogenéticos da colchicina. Até então este organismo bioindicador dentre outros 19 são utilizados em metodologias cujo objetivo consiste em testar sua sobrevivência em ambientes contaminados por várias classes de poluentes, tais como hidrocarbonetos policíclicos aromático, pesticidas halogenados, metais pesados entre outros. Também tem sido indicada por agências internacionais de proteção ambiental para avaliação da toxicidade de contaminantes ambientais (RONCHI, 2010).

Além da simplicidade, alta sensibilidade e baixo custo, os testes com *A. cepa* têm sido selecionados por alguns pesquisadores devido à alta correlação observada com os resultados de outros bioensaios. Esta característica é essencial para se acessar corretamente os riscos ambientais, bem como para realizar extrapolações dos resultados obtidos para outras espécies (KRUGER, 2009).



Figura 4. *Allium cepa* L. Fonte: Nutrição em foco.

Nos bioensaios com *A. cepa*, após a exposição dos bulbos de cebola à solução teste por um determinado período, é possível avaliar tanto efeitos citotóxicos, através da redução do crescimento das raízes ou da diminuição do índice mitótico, como efeitos genotóxicos, geralmente através da análise de micronúcleos ou de anormalidades da anáfase-telófase (KRUGER, 2009).

Neste contexto propôs-se a utilização de *Allium cepa* L, para a realização deste estudo, visando obter resultados considerados cientificamente importantes para a literatura em questão.

4 METODOLOGIA

4.1 Localização do estudo

As amostras foram coletadas no Município de Urussanga localizado no Estado de Santa Catarina, Brasil (Figura 1). Localizado nas seguintes coordenadas latitude e longitude, respectivamente $28^{\circ}31'21.81''\text{S}$ e $49^{\circ}19'03.31''\text{O}$.

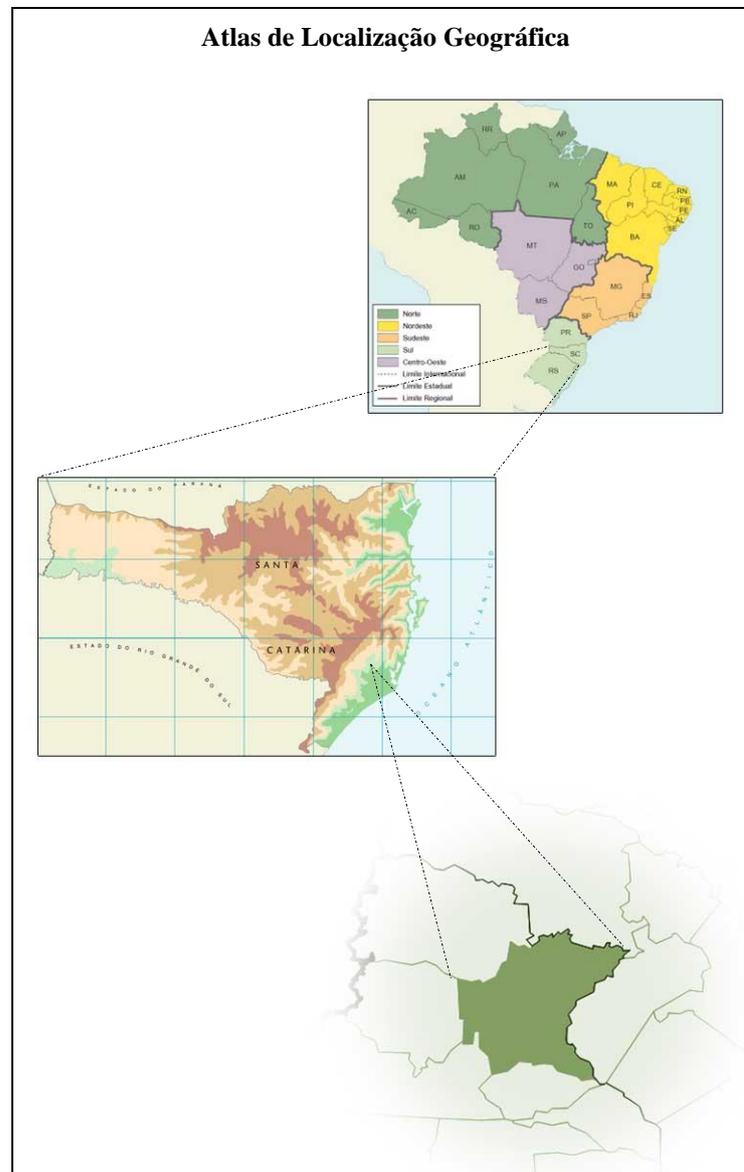


Figura 5. Localização geográfica do Município de Urussanga.

4.2 Coleta e calcinação do sedimento

Amostras de sedimento (3 kg) gerados em Estação de Tratamento de Efluente em uma empresa de mineração de carvão situada na região sul de Santa Catarina foram coletadas. O sedimento foi calcinado em mufla a 800°C por 1 hora e posteriormente armazenados adequadamente até os ensaios.

4.3 Coleta de água

Cinco litros (5L) de amostra foram coletadas em apenas um ponto localizado no Rio Urussanga.



Figura 6. Rio Urussanga (Urussanga SC, Freccia, 2009).

4.4 Tratamento das águas

Amostra das águas foram submetidas ao tratamento com o sedimento calcinado, na proporção de 25 mL/g de sedimento, em sistema de batelada, sob agitação, por 24 horas, à temperatura ambiente. Ao final do tratamento, a amostra de água foi filtrada e armazenada.

4.5 Toxicidade aguda em microcrustáceos *Artemia* sp.

Microcrustáceos *Artemia* sp., totalizando 40 indivíduos, ou seja, (n=40), foram expostos por 24 horas a 2mL amostra de água em estudo, em placas *multiwel*, a 25°C e ao abrigo da luz. Ao final da exposição, foi determinada a concentração letal média (CL₅₀), definida como a concentração na qual ocorre a mortalidade em 50% dos organismos bioindicadores (SVENSSON *et al.*, 2005) e, para tanto, foi empregado o método matemático *Trimmed Spearman-Kärber*, utilizando-se programa Probitos® .

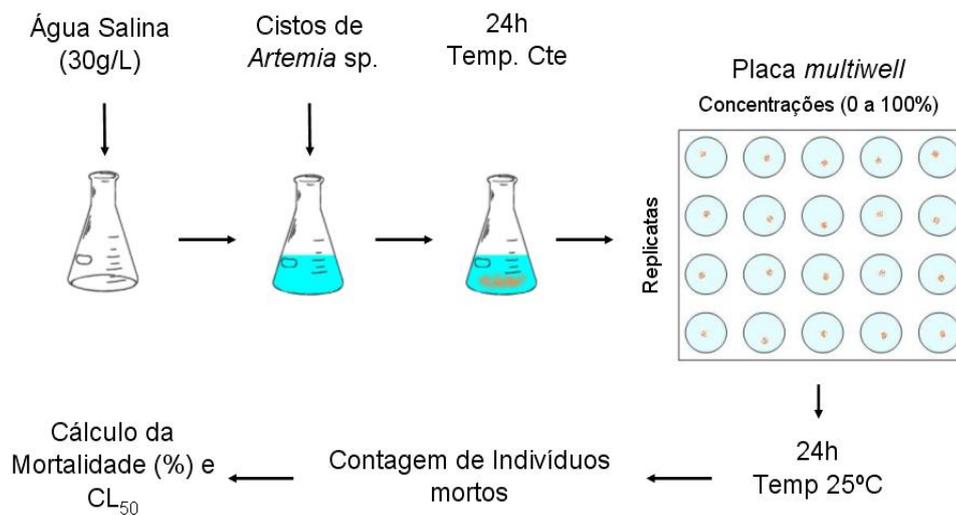


Figura 7. Esquema simplificado da preparação e execução do Teste de toxicidade aguda com *Artemia* sp. Fonte: BORTOLOTTI, 2007.

4.6 Testes de Fitotoxicidade em *Allium cepa* L.

Allium cepa L., totalizando 6 unidades para cada concentração, ou seja, (n=6), tiveram suas raízes envelhecidas retiradas e, posteriormente, os bulbos foram pesados. Os bulbos foram expostos a 60 mL de água do Rio Urussanga não tratada e tratada com o sedimento calcinado, bem como, à água mineral como controle negativo, em tubos falcon, por 7 dias, a temperatura ambiente e ao abrigo da luz. Ao final da exposição, foi determinado o comprimento das raízes, o número de raízes, o peso médio das raízes e o ganho de peso dos bulbos (BORTOLOTTI *et al.*, 2007).

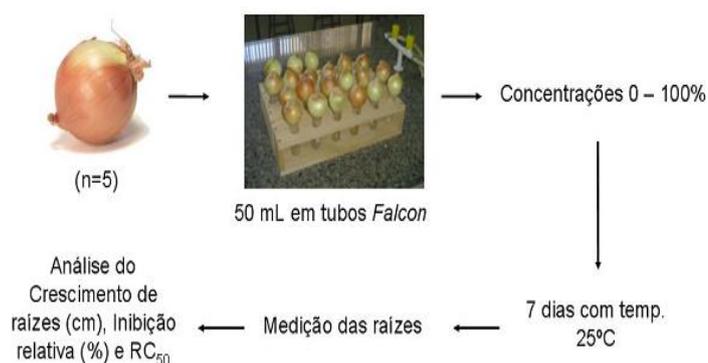


Figura 6. Esquema simplificado da preparação e execução Teste de inibição do crescimento de raízes em *Allium cepa* L. Fonte: BORTOLOTTI, 2007

4.7 Análise estatística

Para os resultados do teste como *Artemia* sp, foi utilizado o método matemático Trimmed Spearman-Kärber (HAMILTON *et al.*, 1977), utilizando-se programa Probitos®.

A análise estatística dos resultados obtidos na avaliação da fitotoxicidade em *Allium cepa* L. foi efetuada através de Análise de Variância (ANOVA), completada pelos testes de *Student-Newman-Keuse e Dunnet*, quando se fez necessário. Para tanto, foi utilizado o software INSTAT (GrahPad, San Diego, CA, USA), para construção dos gráficos, admitindo-se um nível de significância de $P < 0,05$.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análise do pH.

Conforme estabelecido no Ministério do Meio Ambiente através da Resolução CONAMA Nº 20, de 18 de junho de 1986 – Artº 21 - Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água desde que obedeçam uma faixa de pH entre 5 a 9 (BRASIL, 1986).

O pH da água do rio teve alteração significativa nos dois ensaios realizados neste estudo. No ensaio que teve como objetivo avaliar a toxicidade aguda da água em microcrustáceos *Artemia sp* o pH medido antes do tratamento foi menor que após o tratamento com o sedimento, são eles respectivamente 2,93 e 8,55. Também no ensaio realizado para avaliar a fitotoxicidade da água em *Allium cepa* L., o pH medido antes o tratamento foi menor que após o tratamento com o sedimento, são eles respectivamente 3,00 e 8,13. Os resultados nos mostram que a água do rio possui um pH baixo e com o tratamento houve a elevação do teor do pH, conseqüentemente aumentando a qualidade da água do rio.

Tabela 2. Análise do pH da água do Rio Urussanga.

	pH da amostra	
	Não tratado	Tratado
<i>Artemia sp.</i>	2,93	8,55
<i>Allium cepa</i> . L.	3,00	8,13

Fonte: FRECCIA, 2011.

5.2 Toxicidade aguda em microcrustáceos *Artemia sp.*

A figura 9 apresenta os resultados obtidos no teste de toxicidade aguda feito com *Artemia sp* demonstraram que a água do rio *in natura*, ou seja, não tratada apresentou alta toxicidade, matando 50% dos indivíduos na concentração de 28,5% (CL50: 28,5%).

Esse resultado pode estar associado ao baixo pH, ou seja, a alta acidez da água coletada, outro fator considerado é a presença de metais pesados, e demais poluentes.

Já na água tratada apenas 5% dos indivíduos morreram mostrando o resultado do tratamento com sedimentos gerados em estação de tratamento de efluente de mineração de

carvão. Após o tratamento com o sedimento, foi constatado que não houve mortalidade dos indivíduos expostos em todas as concentrações, consequentemente não sendo possível a determinação da CL50.

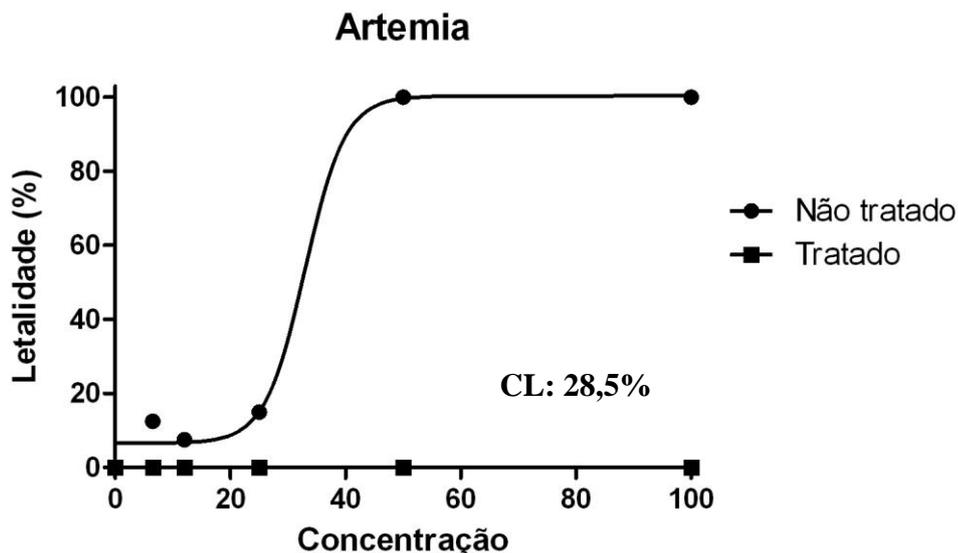


Figura 9. Índice de Letalidade expresso em porcentagem. Toxicidade aguda em microcrustáceos *Artemia* sp. Antes e após o tratamento com sedimentos gerados em estação de tratamento de efluente de mineração de carvão.

A eficiência do tratamento com esse sedimento aponta que é possível tornar a água do Rio Urussanga ácida, menos poluentes, contribuindo para um rio com boa qualidade.

Outros estudos feitos com *Artemia* sp também têm descrito a eficiência desse bioindicador nas avaliações tóxicas.

Netto (2010) utilizou *Artemia* sp. para avaliar a toxicidade em organismos bioindicadores expostos à drenagem ácida de mina de carvão antes e após o seu tratamento com sedimentos gerados em Estação de Tratamento de Efluentes submetidos à calcinação. Foram colocados em 100 mL de solução salina a 2%, durante 24 horas, a aproximadamente 37°C, sob aeração e ao abrigo da luz para a eclosão em náupilos. Os náupilos (n=10, em quadruplicatas) foram expostos a 2 ml de diluições seriadas de drenagem não tratada e tratada com o sedimento calcinado, em placas “*mulltiwel*”, por 24 horas, à temperatura ambiente e ao abrigo da luz. Neste trabalho obteve como resultado, a drenagem não tratada apresentou alta toxicidade aguda com CL50: 18,46% e não houve mortalidade dos indivíduos expostos em todas as concentrações de água tratada. Assim, esses resultados mostram que esse estudo demonstra maior toxicidade do que no estudo proposto, como o CL50 é menor, indica assim que 50% dos indivíduos morreram em menores concentrações.

Manoel (2009) que teve como objetivo avaliar a atividade tóxica e nucleásica dos sedimentos de banhados biológicos tratados por processos físico-químicos e biopolimento. Teve como resultado, os dois pontos não geraram mortalidade dos indivíduos na concentração de 80%, sendo que na concentração de 90% do sedimento o ponto de entrada apresentou letalidade próxima a 30% e o ponto de saída próximo a 10%. Portanto, as CL50 foram 92,38% para a entrada e 94,41% para a saída. Já neste estudo a poluição toxica é menor do que no Rio Urussanga, tendo um CL50 maior do que no estudo proposto.

Borges (2009) que teve como objetivo avaliar a toxicidade das águas da Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga, utilizando ensaios de toxicidade aguda sobre os organismos bioindicadores *Artemia* sp., antes e após a remediação com rejeito de mineração de carvão calcinado. Dispostos em três pontos ao longo da bacia hidrográfica do Rio Urussanga. Os resultados permitiram demonstrar que as águas do Ponto 1 não remediada apresentou alta toxicidade, diferente dos resultados obtidos no Ponto 1, foi observado que nos pontos 2 e 3 da Bacia não houve mortalidade para o organismo bioindicador em estudo, não sendo possível o cálculo da CL50.

5.3 Fitotoxicidade em *Allium cepa* L.

Os resultados apontam um grande desempenho quanto ao tratamento, no ensaio realizado com *Allium cepa* L. Na figura 10, à diferença do peso do bulbo, disposta em gramas, houve diferença significativa no grupo tratado $p < 0,05$ quando comparado com o grupo não tratado.

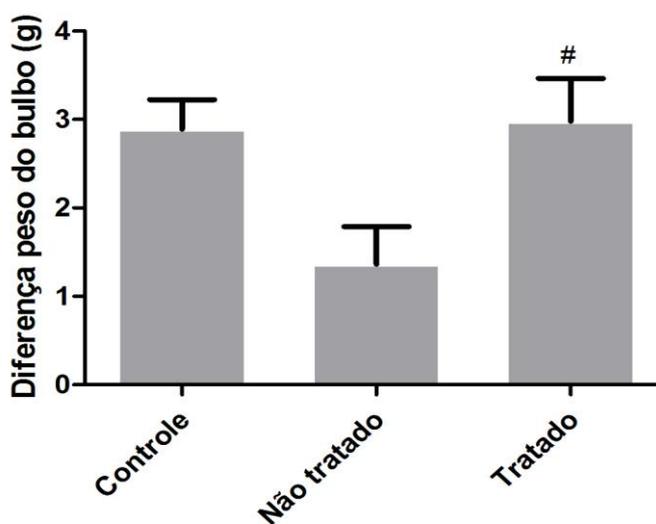


Figura 10. Testes de Fitotoxicidade em *Allium cepa* L – Diferença peso do bulbo. Assum como nível de significância $p<0,05$, $p<0,01$, $p<0,001$, respectivamente (#) (##) (###), comparados ao grupo não tratado.

Na figura 11, relacionada ao numero médio de raízes teve diferença significativa nos grupos tratados $p<0,001$ e não tratados $p<0,001$ quando comparados ao grupo não tratado e ao grupo controle respectivamente.

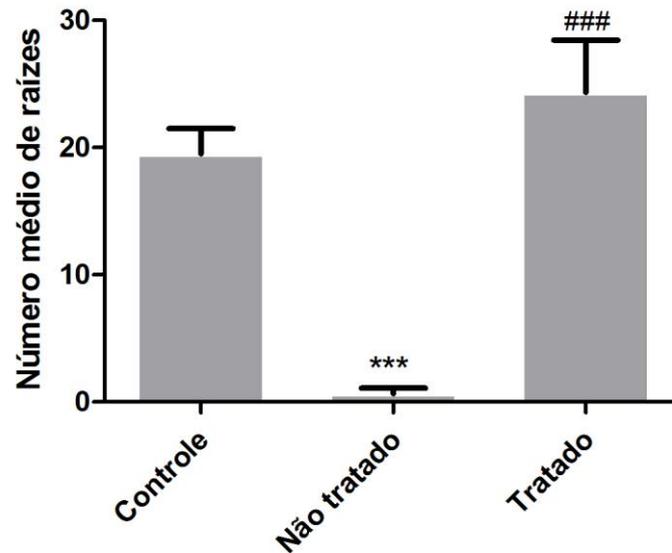


Figura 11. Testes de Fitotoxicidade em *Allium cepa* L – Numero médio de raízes. Assumindo como nível de significância $p<0,05$, $p<0,01$, $p<0,001$, respectivamente comparados ao grupo tratado (#) (##) (###);e grupo não tratado (*), (), (***) quando comparado ao não tratado e ao grupo controle respectivamente.**

Na figura 12, que aborda o peso médio de raízes, por gramas, não houve valor significativos quando comparados ao grupo controle.

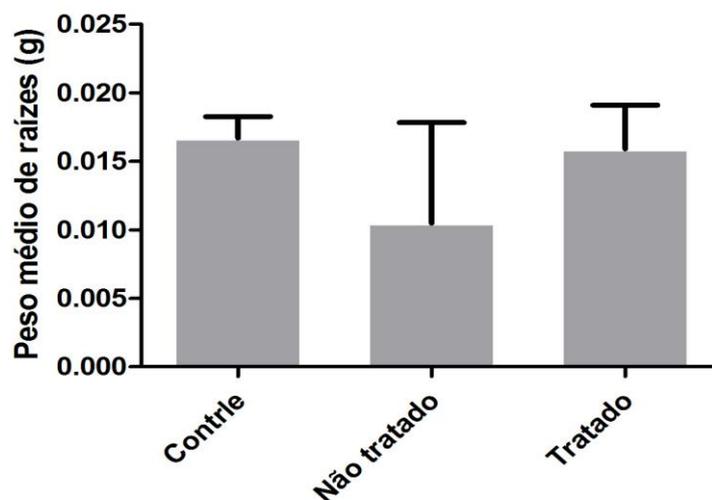


Figura 12. Testes de Fitotoxicidade em *Allium cepa* L – Peso médio de raízes. Assumindo como nível de significância $p<0,05$, $p<0,01$, $p<0,001$.

Na figura 13. Que esta relacionada ao tamanho médio de raízes, houve diferença significativa do grupo não tratado $p<0,001$ quando comparado com o grupo controle e também o grupo tratado $p<0,001$ quando comparado com o grupo não tratado.

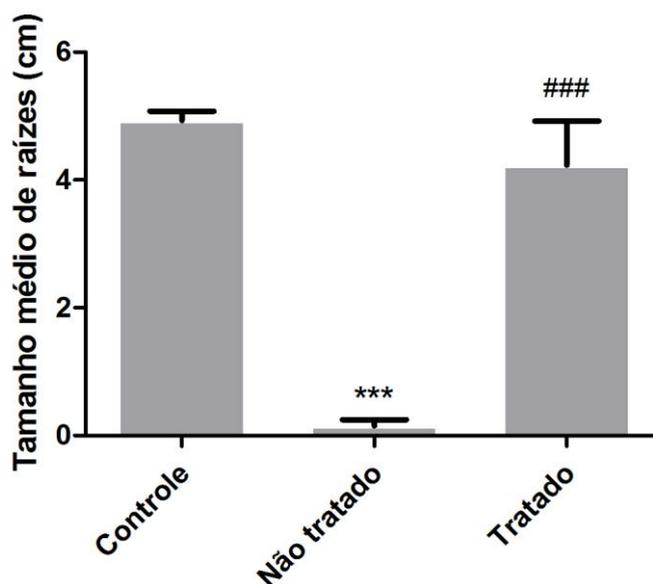


Figura 13. Testes de Fitotoxicidade em *Allium cepa* L – Tamanho médio de raízes. Assumindo como nível de significância $p<0,05$, $p<0,01$, $p<0,001$, respectivamente comparados ao grupo tratado (#) (##) (###); e grupo não tratado (*), (), (***) quando comparado ao não tratado e ao grupo controle respectivamente.**

Outros autores também realizaram análise utilizando o bioindicador *Allium cepa* L. Francisconi (2010) realizou um estudo que teve como objetivo específico avaliar a fitotoxicidade da drenagem ácida de mineração de carvão (DAM) sobre *Allium cepa* com o uso do rejeito piritoso calcinado como método de tratamento, e teve como resultado uma grande melhora após o tratamento para o comprimento de raiz e também para a biomassa de raízes.

A fim de verificar a qualidade de tratamento efetuado em chorume oriundo de aterro sanitário, a exposição de bulbos de *A. cepa* mostrou diferença significativa ao comprimento das raízes quando comparado o percolado não tratado com o controle negativo (água mineral), diferença não encontrada quando analisado o percolado tratado, qualificando a diminuição da fitotoxicidade após o tratamento (FRANCISCONI, 2010).

Ronchi (2010) teve como objetivo avaliar a fitotoxicidade em *Allium cepa* L. expostas às águas da Bacia do Rio Urussanga antes e após o tratamento com rejeito piritoso calcinado, através da determinação da inibição do crescimento das raízes. Amostras coletadas,

disposta em três pontos ao longo da Bacia. Como resultados, todas as amostras de águas coletadas da Bacia não tratadas se mostraram tóxicas para o organismo bioindicador *Allium cepa* L., uma vez que provocaram inibição do crescimento das suas raízes, sugerindo a possível contaminação por efluentes oriundos da atividade carbonífera e tratamento das águas utilizando-se o rejeito piritoso calcinado promoveu eliminação da inibição do crescimento das raízes de *Allium cepa* L. para todos os pontos, o que poderia estar correlacionado com a sua capacidade de remover a acidez e metais comumente presentes em águas atingidas pela mineração do carvão.

Bona (2010) teve como objetivo avaliar a toxicidade das águas do Rio Carvão antes e após o seu tratamento com rejeito piritoso calcinado, utilizando-se organismos bioindicadores, como *Allium cepa* L. Afirmando como resultado toxicidade das amostras de água não tratada mostrou-se extremamente elevada para *Allium cepa*, porém após o tratamento as águas também apresentaram diferença significativa em relação ao grupo controle, sendo necessária a avaliação de outros parâmetros físico-químicos.

Portanto, todos estes estudos tiveram resultados parecidos, mostrando uma grande alternativa para a restauração das águas poluídas pela mineração de carvão e que possuem uma extrema acidez.

6 CONCLUSÃO

Percebe-se claramente a eficiência do tratamento com sedimento gerado em ETE, para melhorar a qualidade da água do Rio Urussanga.

Nos testes realizados, quanto a toxicidade em *Artemia* sp, quando com a água tratada ocorreu taxa baixa de letalidade apenas com 5 % , mostrando que o sedimento gerado em ETE de mineração de carvão é eficiente no tratamento.

Nos testes realizados quanto à fitotoxicidade em *Allium cepa* L., permitiu o crescimento das raízes, ou seja, permitiu o desenvolvimento da cebola, isso devido ao tratamento feito com o sedimento.

Apenas o parâmetro de Peso Médio de raízes não apresentou dados significativos, o que implica em mais estudos detalhados, mais amostragem para obter respostas.

Pode-se realizar este estudo em toda a região carbonífera na região de criciúma, para que se tenham dados concretos, explicativos, e até auxiliares na busca do tratamento eficiente para as águas da região.

REFERÊNCIAS

AMARAL, J. E.; KREBS, A. S. J. **Drenagem ácida da mineração de carvão e sua interrelação com metais pesados e recarga de aquíferos na bacia carbonífera do estado de Santa Catarina**. Criciúma: XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, [2003-2008].8p.

AMBITRAT, Grupo. **A solução inteligente em tratamento de efluentes**. Disponível em: <www.ambitrat.com.br>. Acesso em 14 de julho de 2011.

ARUN, K. et al. Chromium toxicity in plants. **Environment International**. v. 31, p. 5739-5753, 2005.

BONA, Ariana de. **Toxicidade das águas do Rio Carvão, município de Urussanga-SC, antes e após o seu tratamento com rejeito piritoso calcinado, utilizando-se organismos bioindicadores**. 2010. 37 f. TCC (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2010.

BORGES, Alexandre Blos. . **Estudos de toxicidade das águas da Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga, utilizando-se organismos bioindicadores *Artemia sp.* e *Daphnia magna*, antes e após a remediação com rejeito de mineração de carvão**. 2009. 35 f. TCC (Curso de Ciências Biológicas) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2009.

BORTOLOTTI, T. **Avaliação da atividade tóxica e genotóxica de percolados do aterro sanitário municipal de Sombrio, Santa Catarina, utilizando *Artemia sp.* e *Allium cepa L.*** 2007. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso)- Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2007.

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 20, de 18 de junho de 1986**. Brasília/DF, 1986. Disponível em: <<http://www.ignis.org.br/downloads/conama-20-86.pdf>>. Acesso em: 12 de ago de 2011.

BRASIL. **Governo Federal**. Lei no 6.803, de 2 de julho de 1980. Brasília, DF, 1980. 3p.

BRASIL. Política Nacional do Meio Ambiente. **Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Brasília: Distrito Federal, 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm>. Acesso em: 30 de nov 2010.

CALLISTO, M.; MORENO, P. **Bioindicadores como ferramenta para manejo, gestão e conservação ambiental**. IIº Simpósio Sul de Gestão e Conservação Ambiental – 21 a 25/08/2006 – URI/Campus de Erechim – Erechim/RS, 2006.

CARVALHO, F. G.; DESTEFANI, A.; FANTIN, L.H.; GALINDO, L. A.; RICARDO, T. M.; SOUZA, J. Z. **Artêmia como bioindicador**. Araquari, 2007.

CASTRO, S. V. **Efeitos de metais pesados presentes na água sobre estrutura das comunidades bentônicas do alto rio das velhas – MG**. Belo Horizonte: Dissertação (Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2006. 110p.

DOYE, I.; DUCHESNE, J. **Neutralization of acid mine drainage with alkaline industrial residues: laboratory investigation using batch-leaching tests**. Appl. Geochem. v. 18, p. 1197-1213, 2003.

FATIMA, R.A; AHMAD, M. **Allium cepa EROD as a potential biomarker for the presence of certain pesticides in water**. Chemosphere. v. 62, p. 527-537, 2006.

FERREIRA, A. P.; HORTA, M. A. P.; CUNHA, C. L. N. **Avaliação das concentrações de metais pesados no sedimento, na água e nos órgãos de Nycticorax nycticorax (Garça-da-noite) na Baía de Sepetiba, RJ, Brasil**. Rio de Janeiro: Revista de Gestão Costeira Integrada, 2010. 229-241p.

FRANCISCONI, Maiara da Silva. **Análise da toxicidade de drenagem ácida de mina de carvão antes e após o seu tratamento com rejeito piritoso calcinado, utilizando organismos bioindicadores**. 2010. 37 f. TCC (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2010.

FURLAN, C. **Uso de plantas como bioindicadores**. As plantas e a sociedade, 2008. 29p.

GEREMIAS, R. et al., **Remediation of coal mining wastewaters using chitosan microspheres**. Environ. Technol. v. 24, p. 1509-15, 2003.

GEREMIAS, R.; LAUS, R.; MACAN, J.M; PEDROSA, R.C; LARANJEIRA, M.C.M; SILVANO, J.; FAVERE, V.T **Use of Coal Mining Waste for the Removal of Acidity and Metal Ions Al (III), Fe (III) And Mn (II) in Acid Mine Drainage**. Environmental Technology, cidade, Criciúma v. 29, p. 863-886, 2008.

HAMILTON, M. A. et al. **Trimmed Spearman-Kärber: Method for estimating median lethal concentrations in toxicity bioassays**. Environmental Science Technology, v. 11, p. 714-719, 1977.

KRIBENSIS. Foto de *Artemia* sp. Disponível em:
<<http://www.kribensis.kit.net/conteudo/artemia.jpg>> Acesso em: 20 out. 2011.

KRÜGER, Rosangela Angelise. **Análise da toxicidade e da genotoxicidade de agrotóxicos utilizados na agricultura utilizando bioensaios com *Allium cepa***. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental) – Feevale, Novo Hamburgo/RS, 2009. 43p.

MANOEL, L. F.. **Aplicabilidade de análise toxicológica e nucleásica para o monitoramento do biopolimento de efluente de mineração**. 2009. 54 f. TCC (Curso de Ciências Biológicas) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2009. Disponível em: < <http://www.bib.unesc.net/biblioteca/sumario/000040/0000400D.pdf>>. Acesso em: 20 de set de 2011.

MENESES, Thiago Silveira. **Fauna, pesca e contaminação por metais pesados em pescado de tubarões no litoral de Sergipe**. Aracaju: Dissertação (Mestrado em Saúde e Ambiente) – Universidade Tiradentes, 2008. 115 p.

MILIOLI, Geraldo; SANTOS, Robson dos; CITADINI-ZANETTE, Vanilde. **Mineração de carvão, meio ambiente e desenvolvimento sustentável no Sul de Santa Catarina: uma abordagem interdisciplinar**. Curitiba: Juruá, 2009. 315 p.

NETTO, Eduardo. **Avaliação da toxicidade em organismos bioindicadores expostos à drenagem ácida de mina de carvão antes e após o seu tratamento com sedimentos gerados em estação de tratamento de efluentes**. 2010. 51 f. TCC (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2010. Disponível em: < <http://www.bib.unesc.net/biblioteca/sumario/00004D/00004D10.pdf>>. Acesso em: 15 de set de 2011.

NUTRIÇÃOEM FOCO. *Allium cepa* L. Disponível em: < http://nutricaoemfoco.com.br/NetManager/imagens/upload/cebola_2.jpg>. Acesso em 20 set 2011.

PASCOAL, V.C.P. **Bauxita refratárias: composição química, fases e propriedades**. Parte I. Cerâmica. v. 46, p.76-82, 2000.

PEREIRA, R. S. **Identificação e caracterização das fontes de poluição em sistemas hídricos**. Rio Grande do Sul: Revista de Recursos Hídricos/ IPH-UFRGS. V.1, n.1, 2004. 20-36p.

RIDGE, T.; SEIF, J.M. **Coal Mine Drainage Prediction and Pollution Prevention in Pennsylvania**. Harrisburg: Pennsylvania Department of Environmental Protection. p. 4-8, 1998.

RONCHI, Helen Nuernberg. **Avaliação da eficiência do uso de rejeito de mineração de carvão para o tratamento de águas da bacia hidrográfica do rio urussanga (sc), utilizando *Allium cepa* L. como organismo bioindicador.** 2010. 36 f. TCC (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2010 Disponível em : < <http://www.bib.unesc.net/biblioteca/sumario/00004D/00004D17.pdf>>. Acesso em: 18 de julho de 2011.

SAURABH, C. et al. **Comparative biomonitoring of leachates from hazardous solid waste of two industries using *Allium* test.** Science of the Total Environment. v. 347, p. 46– 52, 2005.

SIECESC - Sindicato das Indústrias da Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina. **Carvão mineral: dados estatísticos ano 2002.** Disponível em: <http://www.siecesc.com.br/estatisticas/>. Acesso em: 14 abr. 2009.

SILVA, A. C. **Tratamento do Percolado de Aterro Sanitário e Avaliação da Toxicidade. Dissertação de Mestrado.** Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ/COPPE. Rio de Janeiro, 79 p. 2002.

SILVA, Patrícia Schmitz. . **Avaliação da toxicidade e genotoxicidade das águas do Rio Criciúma (SC) utilizando como organismos Bioindicadores *Artemia* sp., *Daphnia magna* e *Allium cepa* L..** . TCC (Ciências Biológicas) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2008, 92p.

SILVA, Tuane Pontes Siqueira da. **Contribuição do sistema de drenagem pluvial para a condição de balneabilidade na Praia do Balneário Arroio do Silva, SC.** Criciúma: TCC (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2010. 45 p.

SVENSSON, B. M.; MATHIASSEN, L; MÅRTENSSON, L; BERGSTRÖM, S. ***Artemia salina* as test organism for assessment of acute toxicity of leachate water from landfills.** Environ Monit Assess., v. 102, p. 309-321, 2005.

TAMÁS, L. et al. **Aluminium-induced drought and oxidative stress in barley roots.** J Plant Physiol. v.163, p.781-4, 2006.

TEIXEIRA, E. C.; PIRES, M. J. R. **Meio Ambiente e Carvão.** Porto Alegre: FINEP/CAPES/PADCT/GTM/PUCRS/UFSC/FEPAM, 2002. 489 p.

TURNER, A.; RAWLING, M.C. Sorption of benzo(a)pyrene to sediment contaminated by acid mine drainage: constrasting particle concentration-dependencies in river water an seawater. *Water Res.* v. 36, p. 2011-9, 2002.

VAN RENSBURG, L.; MORGENTHAL, T.L. Evaluation of water treatment sludge for ameliorating acid mine waste. *J Environ Qual.* v. 32, p. 1658-68, 2003.