

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

Cristina Henning da Costa

**ESTUDO ECOTOXICOLÓGICO PARA VALORIZAÇÃO DO RESÍDUO
PRODUZIDO NO PROCESSO DE POLIMENTO DE PISO
PORCELANATO NA INDÚSTRIA CERÂMICA.**

Florianópolis (SC)
Julho, 2010

Cristina Henning da Costa

**ESTUDO ECOTOXICOLÓGICO PARA VALORIZAÇÃO DO RESÍDUO
PRODUZIDO NO PROCESSO DE POLIMENTO DE PISO
PORCELANATO NA INDÚSTRIA CERÂMICA.**

Dissertação submetida ao Programa de Pós Graduação
em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de
Santa Catarina para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. William Gerson Matias

Co-orientadora: Prof^a Dr^a Cátia Regina Silva de
Carvalho Pinto

Florianópolis (SC)
Julho, 2010

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária
da
Universidade Federal de Santa Catarina

C837e Costa, Cristina Henning da

Estudo ecotoxicológico para valorização do resíduo produzido no processo de polimento de piso porcelanato na indústria cerâmica [dissertação] / Cristina Henning da Costa ; orientador, William Gerson Matias. - Florianópolis, SC, 2010.

153 p.: il., grafs., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.

Inclui referências

1. Engenharia ambiental. 2. Resíduos industriais. 3. Toxicidade - Testes. 4. Daphnia. 5. Minhoca. I. Matias, William Gerson. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. III. Título.

CDU 628.4

TERMO DE APROVAÇÃO

“Estudo ecotoxicológico para valorização do resíduo produzido no processo de polimento de piso porcelanato na indústria cerâmica”

Cristina Henning da Costa

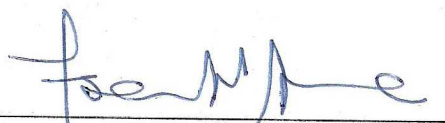
A Dissertação foi julgada e aprovada pela banca examinadora no Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL

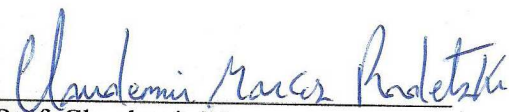
Aprovado por:



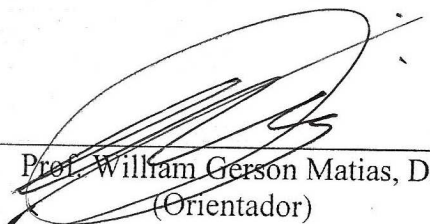
Prof. Armando Borges de
Castilhos Júnior, Dr.



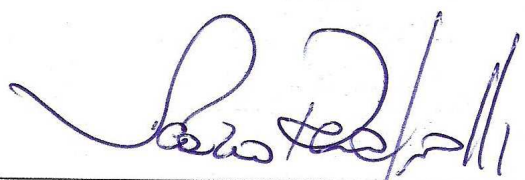
Prof. Fernando Soares Pinto
Sant'Anna, Dr.



Prof. Claudemir Marcos
Radetski, Dr.



Prof. William Gerson Matias, Dr.
(Orientador)



Prof. Flávio Rubens Lapolli, Dr.
Coordenador

FLORIANÓPOLIS, SC – BRASIL

Julho/2010

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Eliana e Silvio, e aos meus
irmãos Vanessa, Adriana e Marcos, que
sempre me apoiaram com amor e
proporcionaram as condições necessárias para
que eu chegasse até aqui. E ao meu marido
Luciano, pelo incentivo e confiança
dispensados a mim.

Com todo meu amor e afeto, muito obrigada.

AGRADECIMENTOS

Todos que já realizaram um trabalho de pesquisa sabem que não o fazem sozinhos, embora em muitos momentos, como este agora, sejam solitários. Por isso, não quero apenas agradecer, mas sim dizer àqueles que me ajudaram e se preocuparam comigo durante meu percurso nesses dois anos, que fazem parte deste trabalho. Nesse sentido, desejo expressar os meus sinceros agradecimentos:

Ao Prof. Dr. William Gerson Matias, meu orientador, pelos seus conhecimentos repassados, orientação para a execução da pesquisa e principalmente pela confiança, mais uma vez depositada, no meu trabalho de dissertação.

À Prof. Dra. Cátia Regina Silva de Carvalho Pinto, pela orientação, companheirismo e excelentes sugestões desde o processo seletivo do Mestrado até a execução desta pesquisa. Devo muito a ela!

Aos professores que me guiaram nas disciplinas que cursei no primeiro ano de mestrado: Daniel José da Silva, William Gerson Matias, Henry Xavier Corseuil, Cátia Regina Silva de Carvalho Pinto, Rejane Helena Ribeiro da Costa, Armando Borges de Castilhos Júnior e Paulo Belli Filho.

A indústria de revestimentos cerâmicos Portobello S/A, através da Eng^a. Ana Cecília A. P. Medeiros da, na ajuda prestada durante as coletas.

À equipe do Laboratório de Toxicologia Ambiental (LABTOX), pelo convívio e amizade, em especial à Cristiane, por estar comigo em muitos momentos na bancada de trabalho, à Sílvia por me responder a várias dúvidas e ao José Julio Barrios, pelo apoio “braçal”.

À equipe do Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA) da UFSC, pelo apoio prestado, principalmente pela “doação” de água destilada, da qual perdi a conta do volume.

Ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. E ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia Ambiental (PPGEA).

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo fomento à pesquisa através da bolsa de estudos.

Aos amigos que escutaram minhas dúvidas, minhas lamentações e sempre torceram por mim.

À minha paixão e também meu marido Luciano, por me compreender, incentivar e nunca me deixar desanimar.

Agradeço, de forma muito carinhosa, aos meus pais, pelo incentivo, tanto emocional quanto material, dedicado a pesquisa e construção deste trabalho. Pela paciência e crença absoluta deles na minha capacidade de realização desta dissertação.

E a Deus, pela minha existência.

*“Feliz é aquele que transfere o que sabe
e aprende o que ensina.”*

Cora Coralina.

*“Nenhuma mente que se abre para uma
nova idéia voltará a ter o tamanho
original.”*

Albert Einstein.

RESUMO

Um dos problemas da indústria de cerâmicas é a quantidade de resíduo gerado, principalmente o resultante do processo de polimento de pisos de porcelanato. Este resíduo, constituído de água, argila, areia e compostos químicos presentes no piso, após o tratamento físico-químico, gera como subproduto uma massa úmida chamada de “torta ou lodo de polimento”, que em geral é desidratado e encaminhado para um aterro industrial. Porém esta solução não é econômica e ambientalmente adequada. Uma alternativa para a valorização deste resíduo é a sua utilização em outra linha de produção, incorporando-o na fabricação de tijolos e blocos de concreto para a construção civil. Para tal objetivo, esta pesquisa realizou um estudo ecotoxicológico deste resíduo em diferentes situações, testando o lodo fresco (*in natura*), o lodo seco (coletado no pátio fabril) e ainda os tijolos fabricados com diferentes concentrações do resíduo (0%, 1%, 3% e 5%). Para a avaliação toxicológica, a amostra do resíduo e os corpos de prova (tijolos) foram submetidos ao teste de lixiviação de bancada. Após a obtenção do extrato lixiviado, este foi usado para a realização dos testes de toxicidade aguda e crônica com o microcrustáceo *Daphnia magna*, ensaios de comportamento e teste de letalidade com o oligoqueta *Eisenia fetida* (minhoca) e teste de germinação com sementes de rúcula (*Eruca sativa* L.). Os ensaios de toxicidade aguda com *D. magna* foram baseados na metodologia da NBR 12.713 (2003), onde o organismo-teste foi exposto por um período de 48 horas em diferentes concentrações da amostra. Os testes de toxicidade crônica foram realizados com amostras dos lixiviados de lodo fresco, lodo seco e dos tijolos com percentuais de 0 e 5% de incorporação do resíduo. Os ensaios de ecotoxicologia terrestre com *E. fetida* seguiram a metodologia descrita na NBR 15.537, em que os organismos jovens foram expostos ao lixiviado do resíduo. O ensaio de germinação com sementes de rúcula durou 7 dias, sendo as sementes expostas às concentrações do lixiviado do lodo fresco. Os resultados dos testes de toxicidade aguda mostraram que para *D. magna*, o resíduo não apresentou efeitos tóxicos agudo, ou seja, não foi observada a imobilidade dos organismos-teste nas concentrações testadas. Os resultados para os corpos de prova com diferentes percentagens do resíduo apresentaram muito pouca ou pouca toxicidade, estando dentro do limite estabelecido pela Portaria 017/2002 da FATMA. Já efeitos de toxicidade crônica para a longevidade, crescimento e reprodução de *Daphnia magna* foram observados nas amostras dos lixiviados do lodo fresco, lodo seco e dos tijolos. Em relação aos testes com o *E. fetida*, não foi observado efeito tóxico agudo sobre os organismos expostos. Os resultados obtidos com sementes de rúcula, também foram positivos, pois não houve efeito inibitório sobre a germinação das sementes expostas. Contudo as plântulas expostas a concentrações altas tiveram um crescimento menor que o controle com água destilada. Diante dos resultados obtidos, conclui-se que, tanto o lixiviado da “torta ou lodo de polimento”, quanto o lixiviado do lodo seco, coletado no pátio do parque fabril, obtiveram bons resultados, ou seja, o resíduo apresentou toxicidade aguda nula ou baixa aos organismos testados neste trabalho, mostrando que o resíduo pode ser valorizado e reutilizado como matéria prima para produtos menos nobre e reduzir o impacto ambiental.

Palavras-chave: Resíduo cerâmico, Ensaios Toxicológicos, *Daphnia magna*, *Eisenia fetida*, *Eruca sativa*, Valorização de resíduo.

ABSTRACT

One of the problems of the ceramic industry is the amount of residue generated, mainly resulting from the polishing porcelain tiles. This residue, consisting of water, clay, sand and chemical compounds present on the tile, after the physical-chemical treatment, generates as a byproduct a wet mass called “sludge pie or polishing”, which is usually dried and sent to a landfill industrial. But this solution is not economical and environmentally sound. Therefore, an alternative to this problem is to use it in another production line, incorporating it in brick and concrete block construction. To achieve this goal, this paper conducted a study of ecotoxicological residue in different situations, the sludge being tested fresh (*in natura*), the dried sludge (collected in the factory yard) and even the bricks manufactured with different concentrations of the residue (0%, 1%, 3 % and 5%). For the ecotoxicological evaluation, the sample of the residue and the bricks were subjected to leaching test bench. After obtaining the leachate, it was used for the testing of acute and chronic toxicity with the microcrustacean *Daphnia magna* and with oligochaete *Eisenia fetida* (earthworm) for behavior and lethal assays. For this study was also tested the with and germination tests with rocket seeds (*Eruca sativa* L.). The acute toxicity tests with *D. magna* were based on the methodology of NBR 12 713 (2003), where the test organisms were exposed for a period of 48 hours at different sample concentrations. The chronic toxicity tests was performed with samples of leachate from fresh sludge, dried sludge and bricks with percentages of 0 and 5% of residue incorporation. Assays on terrestrial ecotoxicology oligochaete followed the methodology described in NBR 15 537, where the bodies were placed in a glass container with the substrate (reconstituted soil) moistened with the leachate of the residue. The test for germination of rockette seeds lasted seven days and the seeds exposed to concentrations of the leachate from fresh sludge. Results of acute toxicity tests showed that for *D. Magna*, the residue showed no acute toxic effects, there was the immobility of test organisms in concentrations. The results for how many bricks made with different percentages of the residue showed little or very little toxicity, being within the limit established by Ordinance 017/2002 of FATMA. Already chronic toxicity effects to the longevity, growth and reproduction of *Daphnia magna* were observed in samples of leachate from fresh sludge, dried sludge and bricks. For tests with the oligochaete, there was no acute toxic effect observed on exposed organisms. The results obtained with seeds of rocket, were also positive, because no inhibitory effect on the germination of seeds exposed were observed. However seedlings exposed to high concentrations had lower growth than the control realized with distilled water. Based on these results, we conclude that both the leachate from the “sludge pie or polishing”, as the leachate of dried sludge, collected in the courtyard of the factory, showed good results, in other words, the residue showed low or null acute toxicity for the organisms tested in this study, showing that the waste can be reclaimed and reused as raw material for products less noble and reduce environmental impact.

Key-Words: Ceramic residue, Toxicological assays, *Daphnia magna*, *Eisenia fetida*, *Eruca sativa*, Valorization of residues.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - FLUXOGRAMA GENÉRICO DO PROCESSO PRODUTIVO DAS INDÚSTRIAS CERÂMICAS.....	30
FIGURA 2 - (A) QUADRO DOS PRINCIPAIS PRODUTORES MUNDIAIS. (B) QUADROS DOS MAIORES EXPORTADORES MUNDIAIS.	35
FIGURA 3 - QUADRO DA PRODUÇÃO BRASILEIRA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS EM 2008.....	36
FIGURA 4 - FLUXOGRAMA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE UMA INDÚSTRIA CERÂMICA.	39
FIGURA 5 - MORFOLOGIA <i>DAPHNIA MAGNA</i>	54
FIGURA 6 - (A) FÊMEA DE <i>D. MAGNA</i> ; (B) MACHO DE <i>D. MAGNA</i> ; (C) DETALHE PARA BOLSA INCUBADORA CONTENDO EFÍPIO.	55
FIGURA 7 - (A) FOTO DE UMA ORGANISMO DE <i>E. FETIDA</i> ADULTO COM CLITÉLO DESENVOLVIDO. (B) ANATOMIA DA <i>E. FETIDA</i>	58
FIGURA 8 - (A) FOTO DE OVOS <i>E. FÉTIDA</i> , ORGANISMO JOVEM E ADULTO. (B) FOTO DO OVO DE <i>E. FETIDA</i>	59
FIGURA 9 - FOTO DA ESPÉCIE DE RÚCULA TRADICIONAL. (A) PLANTA ADULTA DE RÚCULA. (B) SEMENTE DE RÚCULA.	62
FIGURA 10 - LOCALIZAÇÃO E VISTA PANORÂMICA DA FÁBRICA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS PORTOBELLO S.A.	73
FIGURA 11 - COLETA DO RESÍDUO. (A) PESQUISADORES DO LABTOX COLETANDO AMOSTRA LODO FRESCO NA SAÍDA DO FILTRO- PREENSA. (B) RESÍDUO ARMAZENADO NO PÁTIO FABRIL.	74
FIGURA 12 - FLUXOGRAMA DE COLETA DE AMOSTRAS.....	75
FIGURA 13 - ILUSTRAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA UTILIZADOS NOS ENSAIOS DE LIXIVIAÇÃO.....	76
FIGURA 14 - LIXIVIAÇÃO DAS AMOSTRAS DE LODO.....	77
FIGURA 15 - LIXIVIAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	78
FIGURA 16 - ESQUEMA REPRESENTATIVO DO TESTES DE TOXICIDADE AGUDA.	79
FIGURA 17 - ESQUEMA DO TESTE DE TOXICIDADE CRÔNICA COM <i>DAPHNIA MAGNA</i>	81
FIGURA 18 - FOTO DO TESTE DE TOXICIDADE CRÔNICA COM <i>DAPHNIA MAGNA</i>	82
FIGURA 19 - MEDIDA DO COMPRIMENTO TOTAL DE <i>DAPHNIA MAGNA</i> REALIZADA APÓS 21 DIAS DE TESTE.....	84
FIGURA 20 - FOTO DAS SEMENTES UTILIZADAS NOS ENSAIOS TOXICOLÓGICOS.	86
FIGURA 21 - SEMENTES DE RÚCULA. (A) SEMENTE DE BOA QUALIDADE. (B) SEMENTES DEFEITUOSAS.	87
FIGURA 22 - TESTE DE TOXICIDADE COM SEMENTES DE RÚCULA.	88
FIGURA 23 - MEDIÇÃO DO COMPRIMENTO DAS PLÂNTULAS DE RÚCULA.	88
FIGURA 24 - ESQUEMA DO TESTE DE FUGA.....	90
FIGURA 25 - TESTE DE LETALIDADE.....	91
FIGURA 26 - LONGEVIDADE PARA <i>D. MAGNA</i> NO TESTE DE TOXICIDADE CRÔNICA REALIZADO NO LIXIVIADO DO LODO FRESCO E LODO SECO.....	99
FIGURA 27 - CRESCIMENTO PARA <i>D. MAGNA</i> NO TESTE DE TOXICIDADE CRÔNICA REALIZADO COM A ÁGUA DE LIXIVIAÇÃO DA TORTA DE LODO.	100
FIGURA 28 - REPRODUÇÃO PARA <i>D. MAGNA</i> NO TESTE DE TOXICIDADE CRÔNICA REALIZADO PARA AMOSTRAS DO LODO FRESCO E LODO SECO.....	102
FIGURA 29 - ALTERAÇÕES MORFOLÓGICAS OBSERVADAS NOS INDIVÍDUOS TESTADOS. (A) ESPINHO APICAL COM DESENVOLVIMENTO NORMAL, (B) ENCURTAMENTO DO ESPINHO APICAL.	103
FIGURA 30 - LONGEVIDADE PARA <i>D. MAGNA</i> NO TESTE DE TOXICIDADE CRÔNICA REALIZADO NO LIXIVIADO DO LODO FRESCO.....	104
FIGURA 31 - CRESCIMENTO PARA <i>D. MAGNA</i> NO TESTE DE TOXICIDADE CRÔNICA REALIZADO COM A ÁGUA DE LIXIVIAÇÃO DA TORTA DE LODO.	105
FIGURA 32 - REPRODUÇÃO PARA <i>D. MAGNA</i> NO TESTE DE TOXICIDADE CRÔNICA REALIZADO PARA AMOSTRAS DO CORPO DE PROVA COM 0% DE INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO E DO CORPO DE PROVA COM 5% DE INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO.....	107

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - TRABALHOS ACADÊMICOS PRODUZIDOS NO BRASIL ENTRE 1987 E 2009 (FONTE: CAPES)	23
TABELA 2 - TRABALHOS ACADÊMICOS PRODUZIDOS NO PPGEA ENTRE 2005 E 2008.	24
TABELA 3 - PRINCIPAIS EMPRESAS PRODUTORAS DE REVESTIMENTO CERÂMICO.	36
TABELA 4 - PORTARIA 017/02 -LIMITES MÁXIMOS DE TOXICIDADE DE EFLUENTES DE DIFERENTES CATEGORIAS.	71
TABELA 5 - CORPOS DE PROVA PARA TESTE DE LIXIVIAÇÃO.....	76
TABELA 6 - ANÁLISE DO EXTRATO LIXIVIADO, DE ACORDO COM NBR 10005/2004.....	93
TABELA 7 - RESULTADOS DOS PARÂMETROS ANALISADOS PARA LIXIVIADOS DO LODO FRESCO	94
TABELA 8 - RESULTADOS DOS PARÂMETROS ANALISADOS PARA LIXIVIADOS DOS CORPOS DE PROVA.	96
TABELA 9 - RESULTADOS DOS PARÂMETROS ANALISADOS NA LIXIVIAÇÃO NATURAL DOS CORPOS DE PROVA.	97
TABELA 10 - RESULTADOS DOS PARÂMETROS ANALISADOS PARA LIXIVIADOS DAS AMOSTRAS USADAS COMO DILUENTES NO ENSAIO CRÔNICO COM <i>DAPHNIA MAGNA</i>	98
TABELA 11 - RESULTADO REFERENTE AOS EFEITOS TÓXICOS SOBRE A CRESCIMENTO DE <i>D. MAGNA</i> NO LODO FRESCO.....	99
TABELA 12 - RESULTADO REFERENTE AOS EFEITOS TÓXICOS SOBRE A REPRODUÇÃO DE <i>D. MAGNA</i> NO LODO FRESCO E LODO SECO.....	101
TABELA 13 - RESULTADO REFERENTE AOS EFEITOS TÓXICOS SOBRE O CRESCIMENTO DE <i>D. MAGNA</i> NOS LIXIVIADOS DOS CORPOS DE PROVA.	105
TABELA 14 - RESULTADO REFERENTE AOS EFEITOS TÓXICOS SOBRE A REPRODUÇÃO DE <i>D. MAGNA</i> NOS LIXIVIADOS DO CORPO DE PROVA COM 0% DE RESÍDUO E NO CORPO DE PROVA COM 5% DE RESÍDUO.	106
TABELA 15 - PORCENTAGEM MÉDIA DE GERMINAÇÃO PARA SEMENTES DE RÚCULA TESTADAS, SUBMETIDAS À CONCENTRAÇÕES CRESCENTES DO EXTRATO LIXIVIADO DO LODO.....	107
TABELA 16 - COMPRIMENTO MÉDIO DAS PLÂNTULAS DE RÚCULA OBTIDO COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DO LIXIVIADO DO LODO.....	108
TABELA 17 - IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS UTILIZADAS PARA O ENSAIO DE COMPORTAMENTO.	108
TABELA 18 - NÚMERO DE INDIVÍDUOS VIVOS POR AMOSTRA DE SOLOS CONTAMINADOS E NO SOLO DE REFERÊNCIA.	109

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 IMPORTÂNCIA DO TRABALHO	22
1.2 JUSTIFICATIVA.....	24
2 OBJETIVOS	27
2.1 OBJETIVO GERAL	27
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
3.1 A INDÚSTRIA CERÂMICA	29
3.1.1 Cerâmica Vermelha.....	32
3.1.2 Revestimentos Cerâmicos.....	34
3.1.2.1 Indústria de Revestimentos Cerâmicos Portobello S/A	38
3.2 AS INDÚSTRIAS CERÂMICAS E A QUESTÃO AMBIENTAL	41
3.3 VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS.....	45
3.4 TOXICOLOGIA AMBIENTAL E ECOTOXICOLOGIA.....	49
3.4.1 Definição do organismo teste	52
3.4.2 Microcrustáceo <i>Daphnia magna</i>	53
3.4.3 <i>Oligoqueta Eisenia fetida</i>	56
3.4.4 Sementes de rúcula (<i>Eruca sativa L.</i>)	61
3.4.5 Teste de Toxicidade Aguda	63
3.4.6 Teste de Toxicidade Crônica.....	64
3.5 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL	66
3.5.1 Resíduos Industriais.....	66
3.5.2 Legislação sobre Toxicidade	68
4 METODOLOGIA	73
4.1 ÁREA DE ESTUDO	73
4.2 LOCAL DE COLETA	73
4.3 PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA COM PERCENTUAL DE RESÍDUO	75
4.4 TESTE DE LIXIVIAÇÃO	76
4.4.1 Teste de Lixiviação com amostras de lodo.....	76
4.4.2 Teste de Lixiviação com amostras dos corpos de prova.....	77
4.4.3 Teste de Lixiviação natural com amostras dos corpos de prova	78
4.5 ESTUDO DO EFEITO TÓXICO	78
4.5.1 Teste de Toxicidade Aguda com <i>Daphnia magna</i>	78
4.5.2 Teste de Toxicidade Crônica com <i>Daphnia magna</i>	80
4.5.2.1 Parâmetros analisados durante o teste crônico.....	83
4.5.2.2 Determinação dos resultados do teste de toxicidade crônica	85
4.5.3 Teste de Toxicidade com <i>Eruca sativa (rúcula)</i>	86
4.5.4 Testes de Toxicidade com <i>Eisenia fetida (minhoca vermelha californiana)</i>	89
4.5.4.1 Teste de Fuga ou Ensaio de Comportamento	89
4.5.4.2 Teste agudo ou Ensaio de letalidade.....	90
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	93
5.1 ANÁLISE DO EXTRATO LIXIVIADO DO RESÍDUO DE POLIMENTO	93
5.2 TESTE DE TOXICIDADE AGUDA COM <i>DAPHNIA MAGNA</i>	93
5.2.1 Lixiviado do Lodo.....	94
5.2.2 Extrato Lixiviado dos Corpos de Prova	95
5.2.3 Extrato da Lixiviação Natural dos Corpos de Prova	96
5.3 TESTE DE TOXICIDADE CRÔNICA COM <i>DAPHNIA MAGNA</i>	97
5.3.1 Lixiviados do Lodo Fresco e Lodo Seco.....	98
5.3.2 Lixiviados dos Corpos de Prova.....	103
5.4 TESTE DE TOXICIDADE COM <i>ERUCA SATIVA</i>	107
5.5 TESTE DE TOXICIDADE COM <i>EISENIA FETIDA</i>	108
5.5.1 Ensaio de Comportamento	108
5.5.2 Ensaio de Letalidade	109
6 CONCLUSÕES	111

7 RECOMENDAÇÕES.....	113
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	115
APÊNDICE A - FICHA PARA REGISTRO DE INFORMAÇÕES NOS TESTES CRÔNICOS COM <i>DAPHNIA MAGNA</i>	127
APÊNCIDE B – DADOS DOS TESTES CRÔNICOS COM <i>DAPHNIA MAGNA</i>.....	131
ANEXOS	139
ANEXO A – RESOLUÇÃO CONSEMA Nº 15.....	139
ANEXO B – RELATÓRIO DE ANÁLISE PARA CLASSIFICAÇÃO	149

1 INTRODUÇÃO

As primeiras medidas sobre a questão ambiental surgiram de maneira esporádica e atingiam somente o saneamento urbano e timidamente a conservação e preservação natural. Com a industrialização intensificaram-se os problemas ligados a poluição do ar, do solo e das águas superficiais nas áreas urbanas, os quais foram agravados pelo rápido processo de urbanização (GUSMÃO *et al*, 1990, BASTOS, 2006 e SILVA, 2006).

As áreas com maiores problemas ambientais são as que apresentam maior concentração de indústrias e maior densidade populacional (MOTA, 1999). Assim, a gravidade da poluição depende do volume de resíduos gerados e as medidas de controle adotadas nesses ambientes (GUSMÃO *et al*, 1990 e FERRARI, 2000).

Os efeitos das atividades humanas sobre o meio ambiente vêm preocupando a sociedade moderna, que em resposta, passa a cobrar maior responsabilidade ambiental das empresas e indústrias. Atualmente o sucesso das empresas é fortemente influenciado pela sua capacidade em reagir frente às mudanças sociais e políticas que ocorrem em seu ambiente de negócios (DONAIRE, 1995).

Termos como adequação ambiental, desenvolvimento sustentável, especificações legais, entre outras, começam a entrar no cotidiano do mundo empresarial, tornando-se cada vez mais comuns, porém, ainda de difícil aplicação. Com o aumento do rigor da legislação ambiental, bem como pelas exigências do mercado para processos e produtos ambientalmente corretos, muitos estudos vêm sendo desenvolvidos para promover a redução da geração, o tratamento, a reutilização e a disposição correta de resíduos (FERNANDES, 2002).

Nas últimas décadas as considerações ambientais começaram a ter um papel prioritário na maioria dos países, havendo maior preocupação em tratar, reduzir ou reaproveitar os resíduos gerados. No Brasil, observa-se que muitas empresas têm efetuado análises ambientais a fim de avaliar seu desempenho ambiental. Assim, sejam por aspectos econômicos (concorrência), ou por pressão legal (multas elevadas), muitos setores industriais estão buscando sua

adequação ambiental. Isso vem sendo observado em vários setores da indústria, incluindo o de revestimentos cerâmicos (FERNANDES, 2002 e FERRARI, 2000).

A indústria de revestimentos cerâmicos vem passando por um grande aumento na produção de porcelanatos e grês polidos nos últimos anos, devido o elevado valor comercial desses materiais. Porém, a indústria brasileira de revestimentos cerâmicos ainda apresenta algumas deficiências, dentre elas as questões ambientais (MARQUES *et al*, 2007).

O Brasil é hoje, um dos grandes “players” mundiais do revestimento cerâmico. A cada dia cresce a utilização da cerâmica, principalmente dos revestimentos cerâmicos, a exemplo disso o uso destes para revestir as fachadas dos prédios. Este aumento no consumo se deve a alta qualidade do produto e maior durabilidade, comprovado através de século de uso (ANFACER, 2010).

A produção nacional é concentrada em algumas regiões. O estado de Santa Catarina constitui-se num importante Estado produtor de cerâmica de revestimento do Brasil: responde por cerca de 30% da produção brasileira, e por cerca de 70% das exportações, estando instaladas no Estado as maiores e mais modernas cerâmicas do país. A indústria de cerâmica de revestimento catarinense concentra-se na região sul do Estado e, também na região do Vale do Itajaí, em Tijucas, onde se situa a maior indústria de revestimentos cerâmicos de Santa Catarina, a Portobello S.A (CONSTANTINO *et al*, 2006).

Uma indústria cerâmica consome grande quantidade de matéria-prima; conseqüentemente, como em todas as indústrias, rejeitos também são gerados. A disposição de resíduos industriais em aterros, além dos elevados custos econômicos, pode trazer inúmeros problemas ambientais, como contaminação do solo, do lençol freático e agressão à vegetação presente no local (BERNARDIN *et al*, 2006).

Nesse sentido, a reutilização e a reciclagem são as soluções mais promissoras para o destino da grande maioria dos resíduos industriais, tal como o resíduo do polimento do porcelanato, reduzindo custos, preservando recursos naturais não renováveis (matéria-prima natural), diminuindo a carga de poluentes lançados no meio ambiente e reduzindo os impactos

ambientais e efeitos danosos à saúde humana causados pelo descarte indiscriminado de resíduos na natureza (MARQUES *et al*, 2007).

Vários estudos já foram realizados sobre a incorporação de diferentes resíduos industriais na massa cerâmica para produção de novas peças cerâmicas, conseguindo assim aproveitar ao máximo o potencial destes materiais, que se não fossem reutilizados, poderiam ser colocados inadequadamente no meio ambiente.

No entanto, a indústria de revestimentos cerâmicos também tem problemas para encontrar uma solução ambientalmente correta para os seus resíduos, sendo os maiores problemas das empresas os resíduos provenientes da lavagem dos equipamentos da fase de fabricação, os resíduos gerados após a etapa de queima, denominado “chamote”, e o mais atual, que seria o resíduo proveniente do setor de polimento de placas cerâmicas de porcelanato (FERRARI, 2002).

Com a realização de um tratamento adequado, a água pode ser reutilizada no sistema em outra linha de produção ou com outra finalidade, como exemplo, nos processos de lavagem da fábrica. Contudo, o volume de lodo resultante deste processo de lavagem, pode ultrapassar a 12 m³/mês (REIS, 2007).

Parte dos resíduos sólidos, subprodutos da etapa de tratamento, podem e são utilizados dentro da própria indústria de revestimentos cerâmicos (FERNANDES, 2000; FERRARI, 2002 e PORTOBELLO, 2007). O efluente proveniente da etapa de polimento de pisos de porcelanatos, após tratamento em ETE gera o lodo como subproduto que, depois de prensado em filtro-prensa é denominado “torta de lodo” ou “torta de polimento”. Este é um resíduo sólido com composição química similar a das matérias-primas utilizadas no processo, constituído basicamente de: argila (barro), feldspato (rocha britada) e sílica (areia, que confere estabilidade dimensional durante a queima) (FERRARI, 2002).

Apesar deste resíduo ser constituído basicamente por material cerâmico, ele é descartado em aterros industriais, ignorando o seu potencial como matéria-prima cerâmica alternativa. Atualmente, as indústrias estão optando pela reciclagem deste resíduo, contudo a empresa interessada em doar o resíduo precisa realizar o Licenciamento Ambiental para esta prática.

No estado de Santa Catarina, a Resolução CONSEMA nº 15 de 28 de outubro de 2008 (vide ANEXO I) estabelece critérios para a utilização do rejeito sólido industrial denominado “Torta de Polimento” como matéria-prima para uso industrial.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar o lodo gerado na unidade de polimento de porcelanatos de uma empresa fabricante de revestimentos cerâmicos para ser utilizado na fabricação de tijolos que poderão ser empregados, por exemplo, na construção de casas populares. Para tanto, realizou-se uma avaliação toxicológica deste subproduto gerado (“torta de lodo”) e dos corpos de prova fabricados com diferentes percentuais do resíduo.

1.1 IMPORTÂNCIA DO TRABALHO

A importância do desenvolvimento deste trabalho baseia-se, portanto, pela relevância de um estudo toxicológico na valorização dos resíduos gerados na fabricação de revestimentos cerâmicos, reutilizando-os como matéria prima para fabricação de produtos menos nobre, sem perigo para o meio ambiente e o ser humano. Existem poucos trabalhos científicos que avaliem toxicologicamente o resíduo proveniente do tratamento do efluente de polimento de porcelanato.

Informações obtidas junto ao Banco de Teses da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), no período compreendido entre 1987 e 2009 (CAPES, 2009) mostrou que as dissertações e teses elaboradas em vários Estados e Instituições de Ensino Superior (IES) no Brasil abordaram o tema relacionado ao aproveitamento ou reciclagem de resíduos de indústrias cerâmicas.

Contudo, apenas sete trataram especificamente do aproveitamento do resíduo de revestimentos cerâmicos, dentre os quais, citam-se: “Reaproveitamento de Subproduto Industrial de Polimento de Porcelanatos no Desenvolvimento de Novos Materiais de Interesse da Indústria para Redução do Impacto Ambiental” (FERRAZ, 2007); “Estudo e desenvolvimento de alternativas para o aproveitamento do resíduo de indústria de revestimentos cerâmicos” (SOUSA, 2003); “Estudo do Comportamento do Concreto de Cimento Portland Produzido com a Adição do Resíduo de Polimento do Porcelanato” (SILVA, 2006); “Utilização de rejeitos da indústria de revestimentos cerâmicos no

processamento de refratários triaxiais obtidos por delineamento de misturas” (BÓ, 2007); "Reciclagem de Resíduos de Indústria de Placas Cerâmicas: um Estudo de Caso" (MORAIS, 2002); “Influência da Adição de Gres Porcelanato no Comportamento Mecânico e Microestrutural em Pastas de Cimento Portland para Cimentação de Poços de Petróleo” (SANTOS, 2009); “Reaproveitamento do Resíduo Sólido Proveniente da Estação de Tratamento de Efluentes da Indústria Cerâmica de Grés Porcellanato” (LORENZI, 2005).

A Tabela 1 apresenta o número de dissertações e teses produzidas no Brasil por regiões entre 1987 e 2009 voltadas aos resíduos de indústrias cerâmicas.

Tabela 1 - Trabalhos acadêmicos produzidos no Brasil entre 1987 e 2009 (Fonte: CAPES)

Região	Instituição de Ensino	Dissertação	Tese
<i>Sul</i>	UFSC, UDESC, UNESC, UFSM, UFRS	5	--
<i>Sudeste</i>	UFRJ, UFCG, UFSCar, UFCG, UNICAMP, UENF, USP/São Carlos	6	1
<i>Centro-oeste</i>	UFMG, UFU	5	--
<i>Nordeste</i>	UFCG, UFPB, UFPE, UFC	7	1
<i>Norte</i>	UFRN	2	1

FONTE: CAPES (2010).

NOTA: UENF: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; UFCG: Universidade Federal de Campina Grande; UFC: Universidade Federal do Ceará; UFMG: Universidade Federal de Minas Gerais; UFPB: Universidade Federal da Paraíba/João Pessoa; UFPE: Universidade Federal de Pernambuco; UFSM: Universidade Federal de Santa Maria, UFRJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro; UFSCar: Universidade Federal de São Carlos; UFSC: Universidade Federal de Santa Catarina; Universidade de Brasília; UFRS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; UNICAMP: Universidade Estadual de Campinas; UFRN: Universidade Federal do Rio Grande do Norte; UNESC: Universidade do Extremo Sul Catarinense. UFU: Universidade Federal de Uberlândia; USP/São Carlos: Universidade De São Paulo/São Carlos.

Considerando o âmbito internacional, nos últimos anos tem aumentado as pesquisas relativas à valorização de resíduos industriais. Em particular, uma pesquisa realizada no banco de dados da *Web of Science* e *Scorpion*, apontou estudos referentes à reciclagem de resíduos de indústria cerâmica que vem sendo realizadas na Europa e América do Norte. Podemos citar: Utilização de resíduos de cerâmica em concreto; Cerâmicas celulares fabricadas com resíduos de porcelanato e Uso de resíduos de indústria cerâmica na fabricação de argamassas. Contudo, relativo ao assunto deste trabalho (salvo juízo recente), não foram encontradas pesquisas que envolvam a avaliação ecotoxicológica do resíduo de polimento de porcelanato.

No banco de Dissertações e Teses produzidas no Programa de Pós-Graduação de Engenharia Ambiental – PPGEA entre os anos de 2005 e 2008 foram encontrados trabalhos que abordaram temas relacionados aos resíduos sólidos industriais, sua análise, gestão e valorização. A Tabela 2 apresenta os trabalhos produzidos no PPGEA voltadas a este tema.

Tabela 2 - Trabalhos acadêmicos produzidos no PPGEA entre 2005 e 2008.

Trabalho	Título	Autor
Dissertação	Aplicação de resíduos de fundição em massa asfáltica, cerâmica vermelha e fritas cerâmica.	CHEGATTI, Schirlene
Dissertação	Alternativas de recuperação dos resíduos sólidos gerados na produção de pranchas de surfe.	GRIJÓ, Paulo Eduardo Antunes
Dissertação	Análise ambiental do processo produtivo de pisos cerâmicos.	PEREIRA, Sibeli Warmling
Dissertação	Ensaio toxicológicos com <i>Daphnia Magna</i> como alternativa para classificação de resíduos sólidos industriais.	FLOHR, Letícia
Dissertação	Desenvolvimento de um sistema de apoio ao gerenciamento de resíduos de construção e demolição para municípios de pequeno porte.	SCREMIN, Lucas Bastianello
Dissertação	Resíduos sólidos da malacocultura: caracterização e potencialidade de utilização de conchas de ostras e mexilhões.	SILVA, Denyo

FONTE: PPGEA (2010)

Porém, nenhum trabalho foi encontrado no banco de Teses e Dissertações do PPGEA referente ao estudo do reaproveitamento de resíduos de polimento de porcelanato.

1.2 JUSTIFICATIVA

O rápido desenvolvimento urbano e industrial nos grandes centros urbanos afeta de forma direta a paisagem natural e aumenta a produção de rejeitos. A produção de resíduos gerados levanta a problemática de dar uma finalidade a estes sem prejudicar mais o meio ambiente. Estima-se que a cada três anos um hectare do solo seja ocupado por estes resíduos (LUCKMANN *et al*, 2006).

Poucos estudos foram realizados, como citado no item 1.1 desta secção, referentes a toxicidade do resíduo de polimento de porcelanato e seu comportamento químico quando são dispostos no meio ambiente.

Assim três argumentos justificam este trabalho: um *científico*, um *legal* e outro *local*.

No domínio científico deste trabalho baseia-se em diversos estudos realizados anteriormente que mostram o grande volume de resíduo gerado, e que geralmente é descartado, na indústria de revestimentos cerâmicos e visam buscar a melhor forma no reaproveitamento desses resíduos sem prejudicar a saúde ambiental.

Segundo Monfort (1996), os resíduos que se produzem nos processos de fabricação de revestimentos cerâmicos esmaltados são de aproximadamente 6% em peso das matérias-primas utilizadas no processo. Pereira (2004) citou em seu trabalho um estudo realizado em Sassuolo (Itália) pela Associação Nacional de produtores de Revestimentos Cerâmicos e Materiais Refratários – ASSOPIASTRELLE, pelo Centro Cerâmico Bologna e Instituto de economia de Fontes Energéticas e Ambientais da Universidade de Bocconi, publicado em 1998, que identificou os principais aspectos ambientais da produção cerâmica como sendo: consumo de argila (matéria prima crua) de 18 Kg por m² de produto acabado; um consumo de 1,15 kg de esmalte (cru) por m² de produto, e resíduos sólidos gerados com seus potenciais reaproveitamentos (FREY *et al.*, 1998).

Assim, aborda-se o conceito da valorização, reutilização e a reciclagem como solução ao destino final da grande quantidade de rejeitos gerados na maioria das indústrias. Contudo, deve-se ter o mínimo de cautela na aplicação desta metodologia. Os dejetos devem ser estudados no âmbito físico-químico e biológico para verificar o potencial de serem reciclados. Entre os estudos científicos apresenta-se uma avaliação ecotoxicológica. Nas avaliações ecotoxicológicas é importante utilizar mais de um organismo teste, pois diferentes organismos fornecem diferentes tipos de informações a respeito da toxicidade da água e do sedimento (CHEUNG *et al.*, 1997).

O Laboratório de Toxicologia Ambiental, do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, traz algumas experiências envolvendo o estudo toxicológico de resíduos industriais. Dentre as atividades realizadas, destaca-se a pesquisa realizada por FLOHR (2007), onde propôs a classificação de resíduos industriais através de ensaios toxicológicos.

O trabalho encontra-se baseado legalmente no conceito de desenvolvimento sustentável. Pode-se citar a Constituição Brasileira em seu Artigo 225, que dispõe sobre a proteção ao meio ambiente; a Lei 6.938/81, que estabelece a Política Nacional de Meio Ambiente; têm no seu artigo 4º, vii, o princípio do *Poluidor-Pagador*, que pode ser definido como obrigação do poluidor de recuperar e indenizar danos por ele causado ao meio-ambiente; o Decreto Estadual n.º 14.250/81, que regulamenta a Lei n.º 5.793/80 que dispõem sobre a proteção e qualidade ambiental. Outro desafio da reciclagem dos resíduos sólidos é a avaliação ambiental do material. Para dar outra finalidade a este material, é necessário um estudo deste resíduo, dentre as quais está uma avaliação toxicológica. Para isto, é necessário estar em conformidade com a Portaria n.º 17/2002 da FATMA, para que o mesmo possa ser utilizado como matéria prima na fabricação de tijolos.

O último argumento é o local. A região do Vale do Itajaí, localizada no litoral norte sofre com a grande concentração de indústrias cerâmicas, seja olarias (de pequeno e médio porte) ou a indústria de revestimentos cerâmicos. Na cidade de Tijucas está localizada uma das maiores indústrias de revestimentos cerâmicos do País a Portobello S/A. Esta gera uma grande quantidade de resíduos por dia na etapa de polimento do piso de porcelanato, o qual, não é reutilizado no processo industrial da própria fábrica. O resíduo permanecia armazenado em galpões até ser encaminhado ao seu destino final. A deposição deste resíduo industrial diretamente no solo pode trazer inúmeros problemas ambientais, como contaminação do solo, do lençol freático e o incômodo à comunidade vizinha devido à movimentação desta grande quantidade de resíduo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar uma avaliação ecotoxicológica do resíduo resultante do tratamento do efluente da fase de polimento de porcelanato através de testes de toxicidade com diferentes organismos, para verificar se o mesmo pode ser valorizado e reutilizado.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Realizar ensaios de toxicidade aguda utilizando *Daphnia magna* em amostras da água de lixiviação do lodo coletado;
- b) Realizar ensaios de toxicidade crônica utilizando *Daphnia magna* em amostras da água de lixiviação do lodo coletado;
- c) Realizar ensaios de toxicidade aguda utilizando *Eisenia fetida* em amostras da água de lixiviação do lodo coletado;
- d) Realizar ensaios de toxicidade aguda utilizando *Eruca sativa* L. em amostras da água de lixiviação do lodo coletado;
- e) Realizar ensaios de toxicidade crônica com o microcrustáceo *Daphnia magna* em amostras de água de lixiviação de corpos de prova constituídos com 0 e 5% de “torta de polimento”.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A INDÚSTRIA CERÂMICA

Segundo ROSA *et al* (2003), a definição de cerâmica compreende todos os materiais inorgânicos e não-metálicos obtidos através de tratamento térmico em temperatura elevada. O resultado desse processo é um material refratário, ou seja, capaz de resistir à elevada amplitude térmica, mantendo sua integridade físico-química.

A utilização da cerâmica data do início do Neolítico (entre 10000 e 6000 a.C.), na forma de potes para o armazenamento de grãos. No que diz respeito ao uso na construção, os materiais cerâmicos também estão entre os mais antigos, tanto na forma de blocos e telhas, quanto na de placas de revestimento (ROSA *et al*, 2003).

O Brasil dispõe de importantes jazidas de minerais industriais de uso cerâmico, cuja produção está concentrada principalmente nas regiões sudeste e sul, onde estão localizados os maiores pólos cerâmicos do País (ABCeram, 2007).

Atualmente, devido ao desenvolvimento tecnológico e o progresso produtivo, o emprego de materiais cerâmicos ampliou-se de forma espetacular, englobando desde utensílios domésticos a isolantes elétricos e filtros.

O processamento de materiais cerâmicos, de modo geral, resume-se à preparação das matérias-primas e da massa, à conformação, ao processamento térmico e, por último, ao acabamento (Figura 1). As matérias-primas utilizadas podem ser de origem natural ou sintética, sendo as de maior aplicação industrial a argila, o caulim, o quartzo, o feldspato, o filito, o talco, a calcita, a dolomita, a magnesita, a cromita, a bauxita, a grafita e a zirconita (ROSA *et al*, 2003).

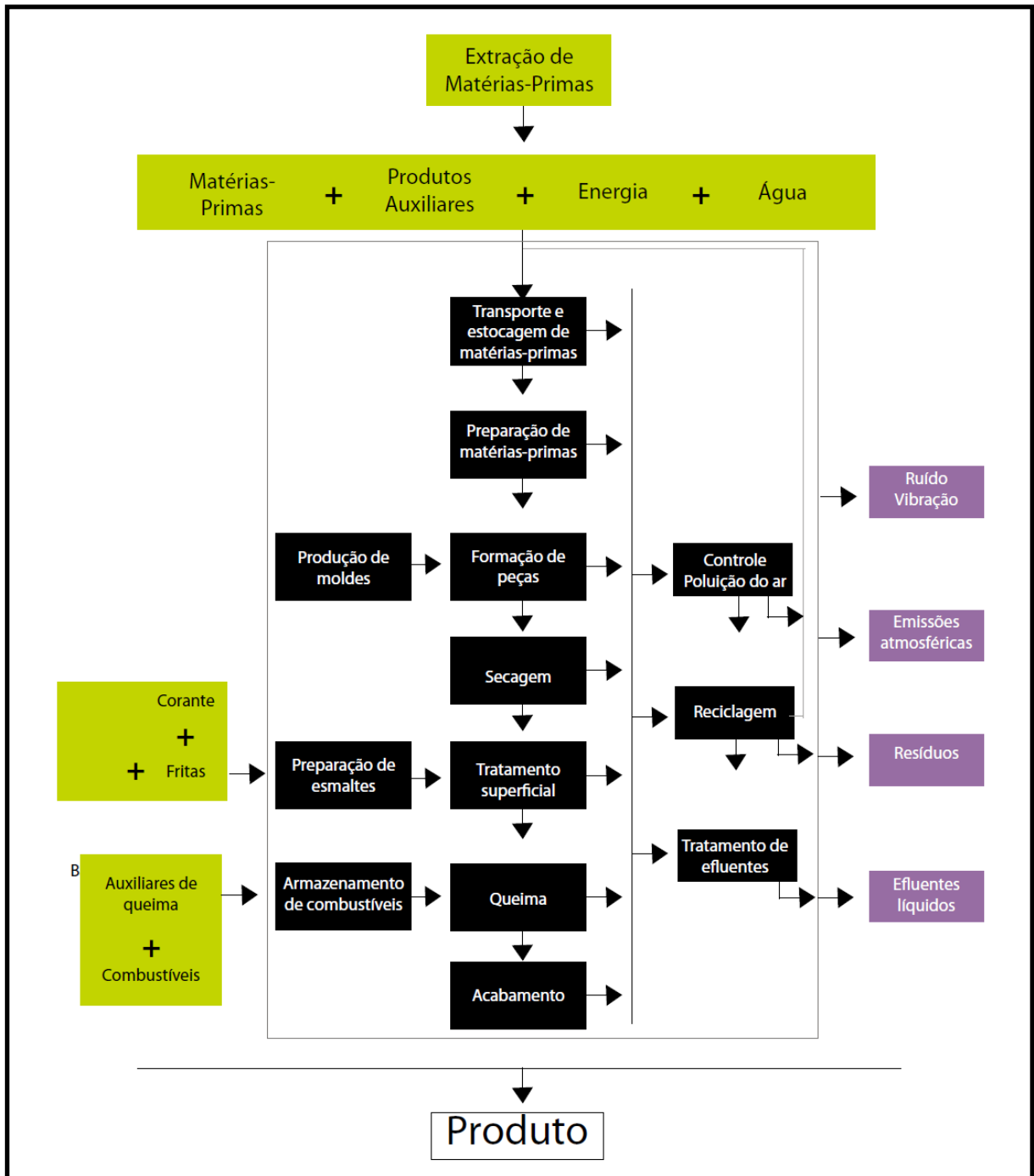


Figura 1 - Fluxograma genérico do processo produtivo das indústrias cerâmicas.
Fonte: OLIVEIRA *et al* (2006).

Para classificar um produto cerâmico deve-se levar em consideração o emprego dos seus produtos, natureza de seus constituintes, características texturais do biscoito (massa base), além de outras características cerâmicas, técnicas e econômicas (ANFACER, 2009).

A partir da matéria-prima utilizada, identificam-se as cerâmicas tradicionais (ou silicáticas) de base argilosa, tais como cerâmica estrutural ou vermelha, cerâmica branca e de revestimentos.

Devido à grande diversidade do setor cerâmico, torna-se necessário dividi-lo em segmentos, em função de fatores como matérias-primas, propriedades e áreas de utilização. A Associação Brasileira de Cerâmica (ABCeram) apresenta uma subdivisão muito empregada pelos agentes do setor, compreendendo os seguintes segmentos:

- de cerâmica vermelha: Compreende aqueles materiais com coloração avermelhada empregados na construção civil, abrangendo desde telhas, lajes, tubos cerâmicos e argilas expandidas até manilhas e também utensílios de uso doméstico e de adorno como objetos artesanais;
- de cerâmica branca: Este grupo é bastante diversificado, compreendendo materiais constituídos por um corpo branco e em geral recobertos por uma camada vítrea transparente e incolor, como a produção de louças sanitárias e domésticas, de isoladores elétricos de baixa e alta tensão, cerâmica artística e cerâmicas técnicas, para fins diversos;
- de revestimentos cerâmicos ou placas cerâmicas: Compreendem a produção de materiais usados na construção civil para revestimento de paredes, pisos e bancadas, tais como azulejos, placas ou ladrilhos para piso e pastilhas;
- de materiais refratários e isolantes térmicos: Tem como finalidade suportar temperaturas elevadas nas condições específicas do processo e de operação dos equipamentos industriais, que em geral envolvem esforços mecânicos, ataques químicos, variações bruscas de temperatura e outros. Esses materiais são muito utilizados na siderurgia, fabricação de vidros e dos próprios revestimentos cerâmicos.
- Fritas: Estas compõem-se de elementos misturados, queimados e só então moídos. Conhecidas como bases para os esmaltes, são brancas, transparentes mates, etc. São produzidas pela necessidade que há de evitar a solubilidade de alguns dos seus componentes. São fabricadas através da fusão, em torno de 1500 °C em fornos contínuos ou rotativos, e resfriadas em água, formando um tipo de vidro com propriedades e características constantes. Com tal procedimento elimina-se a toxidade de alguns esmaltes crus com compostos de chumbo, que são extremamente tóxicos.

- **Cerâmica avançada:** São materiais desenvolvidos a partir de matérias-primas sintéticas de altíssima pureza e por meio de processos rigorosamente controlados. Eles são classificados, de acordo com suas funções, em: eletroeletrônicos, magnéticos, ópticos, químicos, térmicos, mecânicos, biológicos e nucleares. Os produtos deste segmento são de uso intenso e a cada dia tende a se ampliar. Como alguns exemplos de uso, podemos citar: naves espaciais, satélites, usinas nucleares, materiais para implantes em seres humanos, aparelhos de som e de vídeo, suporte de catalisadores para automóveis, sensores (umidade, gases e outros), ferramentas de corte, brinquedos, acendedor de fogão.

Dentre as cerâmicas utilizadas, as cerâmicas vermelha e a de revestimentos estão entre as primeiras mais consumidas, assim daremos mais detalhes a esses dois tipos.

3.1.1 Cerâmica Vermelha

A cerâmica vermelha, também conhecida por cerâmica estrutural, é uma subdivisão da grande área cerâmica. Os produtos da cerâmica vermelha caracterizam-se pela sua cor vermelha e dentre os produtos fabricados por este setor, destacam-se os tijolos, blocos e as telhas, os quais têm grande aplicabilidade na construção civil.

Os produtos fabricados possuem elevadas propriedades térmicas, mecânicas e estéticas e ainda vale à pena ressaltar a grande vantagem de ser de fácil fabricação e com custo muito baixo, visto que utilizam como matéria-prima argilas encontradas de forma abundante na natureza e dispensam de tecnologias muito avançadas.

As matérias-primas empregadas na produção de tijolos são basicamente as argilas comuns, materiais de granulometria fina, que manifestam um comportamento plástico quando misturadas com uma quantidade limitada de água.

O Brasil atualmente possui uma grande produção anual, tanto de tijolos e telhas, quanto de matéria-prima extraída da natureza (FERRARI, 2000).

A ABCeram (Associação Brasileira de Cerâmica) contabiliza, especificamente para a cerâmica vermelha, a existência de 11.000 empresas de pequeno porte distribuídas pelo País. Por outro lado, A ANICER (Associação Nacional da Indústria Cerâmica) aponta que o mercado conta com cerca de 5.500 empresas entre cerâmicas e olarias. Essa deficiência de dados dificulta a obtenção de um panorama mais amplo desse importante setor industrial necessários para tomadas de ações adequadas para o desenvolvimento do setor.

Na fabricação de um tijolo, em olarias de pequeno porte, o processo de produção é simples, e em geral consiste na extração da matéria-prima, estocagem a céu aberto e/ou em local coberto (para épocas de chuva, evitando assim o excesso de umidade), desagregação, mistura de normalmente dois tipos de argilas; ajuste do teor de água se necessário, conformação por extrusão, secagem natural e, queima em fornos intermitentes, em temperatura inferior à 1000°C (MÁS, 2002; ABCeram, 2007; ANFACER, 2009).

No tocante ao consumo de matéria-prima, destaca-se a cerâmica vermelha pelo consumo da ordem de 82 milhões de toneladas de argila por ano (tpa), através de cerca de 7.000 empresas de pequeno porte distribuídas pelo país, sobressaindo os estados de São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Bahia, como os principais produtores. As reservas de argila para cerâmica vermelha são de grande porte e distribuem-se por praticamente todas as regiões do país (ABCeram, 2007).

Essa retirada constante causa sérios danos ao meio ambiente e indiretamente ao ser humano. Muitos estudos vêm sendo realizados para buscar processos alternativos que visam a substituição destas matérias-primas naturais por sub-produtos industriais (resíduos) que diminuam o impacto ambiental causado pela extração diária de toneladas destas matérias-primas naturais (REIS, 2007).

Portanto, a idéia de utilizar matérias-primas alternativas vem de encontro com os interesses de muitas indústrias que buscam um destino ecologicamente correto para seus subprodutos industriais. Todo esse trabalho de substituição dos componentes naturais e essenciais do processo de fabricação de tijolos e telhas pode ser associado à busca de alternativas para a

melhoria em propriedades destes materiais, ou seja, no desenvolvimento de novos produtos (REIS, 2007).

3.1.2 Revestimentos Cerâmicos

A cerâmica de revestimento é uma mistura de argila e outras matérias-primas inorgânicas (fundentes), queimadas em altas temperaturas e apresentam coloração em todo o suporte (ABCeram, 2007). A massa cerâmica dos porcelanatos exige uma proporção de feldspato, usado como material fundente, de até 50% (MOTTA, 2001; KUMMER, 2007). Utilizada em larga escala para fins de arquitetura e decoração, este grupo engloba azulejos, pisos, ladrilhos e pastilhas, produtos de formato regular, que permite o maior grau de automação.

As cerâmicas porcelânicas, comercialmente conhecidas por grês porcelanato ou apenas porcelanato, são uma classe de produtos cerâmicos para revestimento que, principalmente devido suas características químicas e físicas, tem-se tornado uma alternativa real a outros produtos cerâmicos, ao granito e outras pedras naturais (CAVALCANTE *et al*, 2000). O grês porcelanato é atualmente a cerâmica para revestimentos que apresenta as melhores características técnicas e estéticas se comparadas com as demais encontradas no mercado, cujas aplicabilidades são em ambientes industriais, comerciais, residenciais e em locais públicos (KUMMER, 2007).

A indústria de revestimentos cerâmicos vem crescendo e em 2004 a produção mundial atingiu 6,3 bilhões de m² de revestimentos cerâmicos, apresentando um crescimento de 4,5% em relação ao ano de 2003 (CONSTANTINO *et al*, 2006).

Em 2005, os cinco principais produtores mundiais foram China com 3,1 bilhões de m², Espanha com 648 milhões de m², Itália com 572 milhões de m², Brasil com 568 milhões de m² e Índia com 303 milhões m² (Figura 2 (A)). O Brasil está entre os cinco maiores exportadores de revestimentos cerâmicos em 2008, conforme Figura 2 (B) (REVISTA MUNDO CERÂMICO, 2005). O Brasil representava cerca de 9% da participação na produção mundial de revestimentos cerâmicos no ano de 2005 (CONSTANTINO *et al*, 2006).

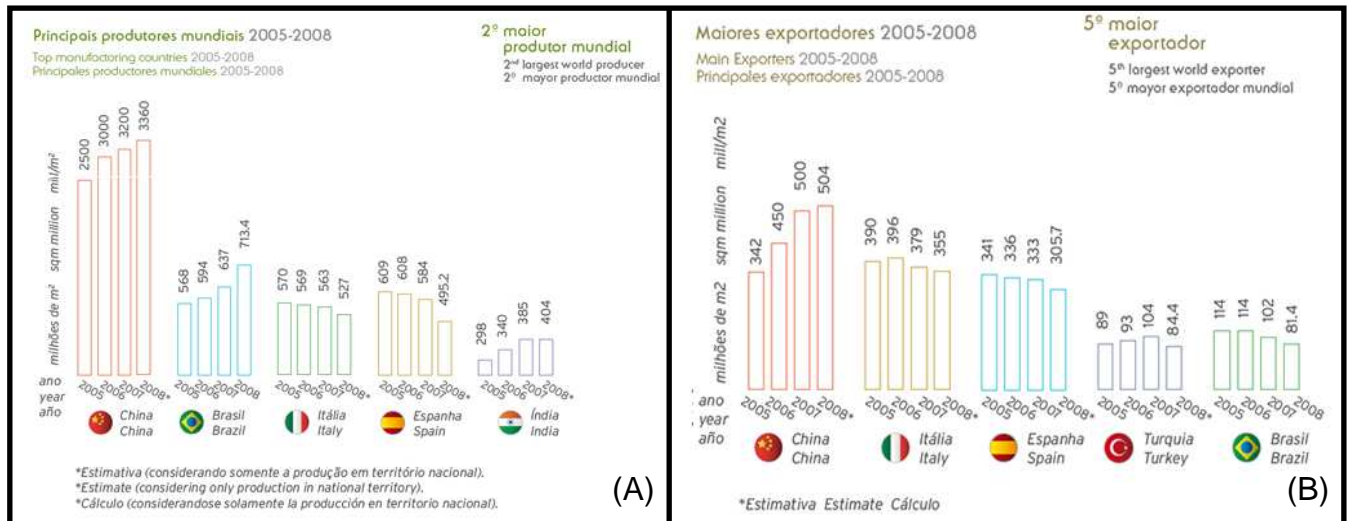


Figura 2 - (A) Quadro dos principais produtores mundiais. (B) Quadros dos maiores exportadores mundiais. Fonte: ANFACER (2010).

A indústria de cerâmica para revestimentos no Brasil surgiu a partir de antigas fábricas de tijolos, blocos e telhas de cerâmica vermelha, que no início do século 20 começaram a produzir ladrilhos hidráulicos e, mais tarde, azulejos e pastilhas cerâmicas e de vidro. Foi no início dos anos 70 que a produção atingiu uma demanda continuada, fazendo com que a indústria cerâmica ampliasse significativamente a sua produção, com o surgimento de novas empresas (GORINI & CORREA, 1999).

O Brasil é um dos principais líderes mundiais de revestimentos cerâmicos, assumindo a segunda maior posição na produção e consumo mundial de revestimentos cerâmicos, quarto exportador mundial e segundo maior exportador para o mercado norte-americano, que é o maior importador do mundo em produção e consumo (ANFACER, 2010).

Segundo a ANFACER (2010), em 2008, foram produzidos 713,4 milhões de metros quadrados, para uma capacidade instalada de 781 milhões de metros quadrados (Figura 3). As vendas totais atingiram 686,8 milhões de metros quadrados, sendo que deste 88,15% foram vendidos no mercado interno e 11,85% exportados.



Figura 3 - Quadro da produção brasileira de revestimentos cerâmicos em 2008.
Fonte: ANFACER (2010).

De acordo com a Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos (ANFACER), a indústria brasileira de revestimento cerâmico é composta por 94 empresas ativas, e 117 plantas industriais. Os dois estados com a maior concentração dessas indústrias são São Paulo, com 56 empresas e Santa Catarina, com 17 empresas. A Tabela 3 apresenta as principais indústrias de revestimentos cerâmicos do país.

Tabela 3 - Principais Empresas Produtoras de Revestimento Cerâmico.

Empresa	Receita Líquida – 2004 R\$ milhões	Capacidade Instalada de Produção/Ano (milhões de m²)
Eliane	354,46	38
Portobello S/A	334,71	22
Cecrisa	323,47	37

FONTE: CONSTANTINO *et AL* (2006).

As placas cerâmicas são constituídas de uma grande variedade de matérias-primas, que se apresentam em dois tipos principais: os materiais argilosos (plásticas), aqueles que possuem a propriedade de se deformar sem romper pela aplicação de uma tensão de cisalhamento, permanecendo a deformação quando a tensão aplicada é retirada e os não-argilosos (não-plásticas), que servem para a redução da plasticidade da massa cerâmica (FERNANDES, 2002; FERRARI, 2000 e LORENZI, 2005).

Os materiais argilosos são essenciais na fase de conformação, ou seja, utilizados na produção da massa cerâmica em suspensão, chamada de barbotina, que depois de atomizada – retirada a água- e sob forma de pó, é prensada ou moldada. As principais matérias-primas plásticas utilizadas no preparo das massas de revestimentos são argilas plásticas (queima branca ou clara), caulim e argilas fundentes (queima vermelha). Já os materiais não-argilosos são utilizados em mistura com argilas, quando estas não os contêm e atuam mais na fase do processamento térmico. Servem para formar o esqueleto do corpo cerâmico (conhecido como biscoito) ou para promover a fusão da massa. Os compostos minerais normalmente utilizados são quartzo, feldspato e calcário (GORINI *et al*, 1999).

Na cerâmica de revestimento, em 2007 foi estimado um consumo de 6 milhões de toneladas por ano (tpa) de matérias-primas, compreendo as seguintes substâncias minerais: argilas comuns fundentes (40 a 50%), argilas plásticas (15 a 20%), fundentes feldspáticos e filito (20 a 25%), outros fundentes - carbonatos, talco (5 a 10%) (ABCeram, 2007).

As placas cerâmicas para revestimento podem ser classificadas segundo o processo de fabricação das peças (tipo de queima), as características técnicas da peça acabada (valor de absorção de água e resistência mecânica) e a sua utilização (ANFACER, 2009; FERNANDES, 2002; FERRARI, 2000).

As principais características técnicas dos revestimentos cerâmicos são: absorção de água (inferior a 0,5%), abrasão superficial, resistência às manchas, resistência aos ácidos e alta resistência mecânica (450 kgf/cm²) (FERNANDES, 2002).

As placas cerâmicas podem ser esmaltadas ou não-esmaltadas, sendo que o esmalte corresponde a uma fina cobertura vítrea que impermeabiliza e decora uma das faces da placa, resultando no revestimento cerâmico propriamente dito. O esmalte pode ser aplicado no suporte cru, em que a peça sofre uma única queima (monoqueima), ou aplicado no suporte já queimado sendo realizada uma segunda queima (biqueima). A terceira queima é utilizada em placas já queimadas e decoradas em monoqueima ou biqueima, que são submetidas a uma nova esmaltação e queima, em que se busca um requinte no acabamento decorativo (ABCeram, 2007; FERNANDES, 2002 e LORENZI, 2005).

Segundo Gorini *et al* (1999), para a produção dos esmaltes (utilizados para o acabamento do revestimento) utilizam-se também outros compostos minerais, que constituem seus três componentes básicos: elementos fundentes (chumbo, magnésio, cálcio e sódio), elementos opacificadores e refratários, que determinam as propriedades finais do vidro (estanho, zinco, zircônio e alumínio), e elementos vítreos, que formam o corpo do esmalte (quartzo e feldspato).

O revestimento cerâmico também pode ser classificado de acordo com o processo de preparação da massa, ou seja, via úmida e via seca. A via úmida, as várias matérias-primas são moídas e homogeneizadas em moinhos de bolas, em meio aquoso; a via seca refere-se às placas cerâmicas feitas por processo de moagem a seco das matérias-primas, por moinhos de martelo e pendulares e, depois, levemente umidificada para a prensagem (COELHO, 1996; BARBA *et al*, 1997; MARINO, 1997 e FERRARI, 2000).

Segundo Costa & Toledo (2008) uma característica típica da produção brasileira, e única no cenário mundial do setor, é que as indústrias do país utilizam os dois processos produtivos em seu parque industrial: a Via Seca e a Via Úmida. Atualmente, cerca de 65% da produção de revestimentos cerâmicos nacional é realizada utilizando a via seca.

Assim, as empresas estão se conscientizando de que a geração de resíduos está associada a elevados custos, já que requer seu tratamento e/ou disposição adequados. Portanto, a melhoria da qualidade ambiental está intimamente relacionada à redução de resíduos gerados pela atividade industrial, originando assim o movimento mundial pela reciclagem (FERNANDES, 2002).

3.1.2.1 Indústria de Revestimentos Cerâmicos Portobello S/A

A fábrica Portobello S/A, empresa localizada na cidade de Tijucas, no Estado de Santa Catarina, Brasil, iniciou suas atividades em 1979. Atuando no setor cerâmico, a empresa possui o maior Parque fabril da América Latina, com uma área construída de 205 mil m², concentrado em um mesmo local. Seus produtos podem ser divididos nas seguintes

categorias: mármore porcelânico, porcellanatos, porcellanatos rústicos, mosaicos, paredes e pisos (PORTOBELLO, 2007).

A produção média da Portobello atinge 2 milhões de m² por mês, atendendo todo o Brasil (65%) e também o mercado externo (35%). A localização, situada próxima às jazidas de matéria-prima e próxima a portos e rodovias, facilita o escoamento da produção (PORTOBELLO, 2007).

Com relação aos efluentes líquidos, a empresa possui uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) que está dimensionada para receber 50.000 l/hora, ou seja, 100% do que é utilizado pelo parque fabril. A maior parte da água tratada na ETE é reutilizada nos processos de preparação de massa e o excedente é lançado em um anel hídrico fechado, sendo utilizada em lavadores de gases (ciclones abatedores de pó) provenientes dos atomizadores. Em torno de 60% do resíduo (lodo) gerado na estação de tratamento de efluentes é absorvido no processo. O restante do material que não é absorvido no processo é enviado ao aterro industrial apropriado. A Figura 4 representa o esquema de uma Estação de Tratamento de Efluentes na indústria de revestimentos cerâmicos.

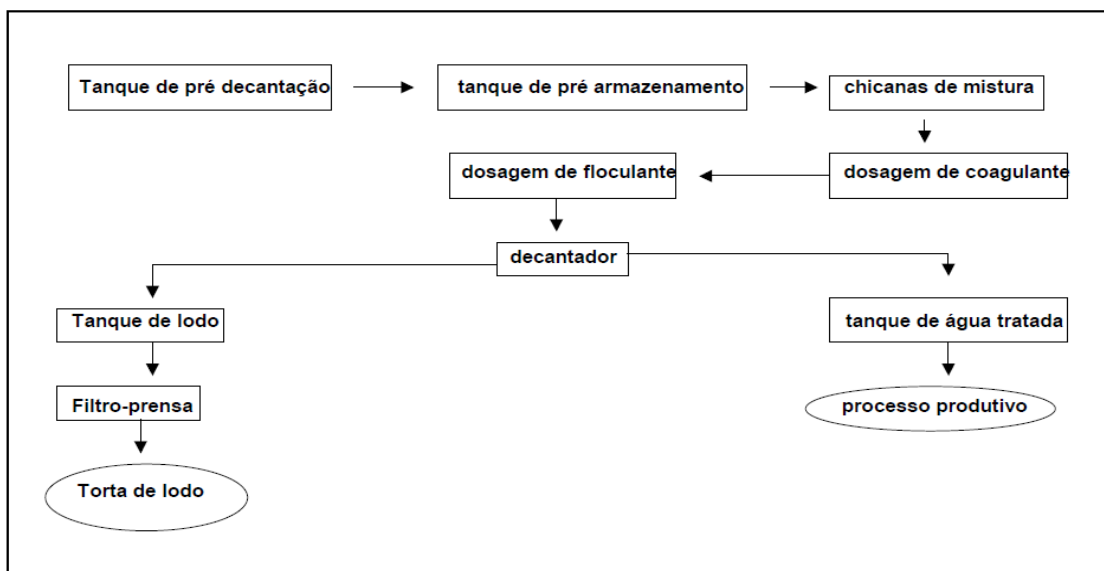


Figura 4 - Fluxograma da estação de tratamento de efluentes de uma indústria cerâmica.
Fonte: FERNANDES (2002).

Os cacos, refugo de cerâmica queimada, gerados durante o processo de produção, também são consumidos no processo como parte da formulação da massa, reduzindo assim o índice de resíduo gerado (PORTOBELLO, 2007).

Na fabricação de porcelanatos, o processo de polimento dessas peças é realizado através do desgaste das peças com elemento polidor (pedra de polimento), utilizando pressão, velocidade controlada e água. Essa etapa gera um efluente composto de água e pó cerâmico. Esse efluente vai para uma estação de tratamento separada das outras linhas de fabricação, pois o lodo gerado como subproduto do porcelanato não pode ser reaproveitado na linha de produção de pisos e azulejos cerâmicos. As etapas do tratamento de efluentes estão descritas a seguir.

Tanque de pré-decantação: é onde o efluente é recebido e ocorre a primeira decantação sem a adição de nenhum tipo de produto químico. O lodo decantado é retirado por raspadores no fundo do tanque. Esse lodo é arrastado para o tanque de lodo.

Tanque de pré-armazenamento: tanque onde escoar o efluente que pré-decantou. Armazena e bombeia o efluente para as chicanas.

Chicanas de mistura: corredores por onde passa o efluente, com a finalidade de promover um maior contato entre o efluente e os produtos químicos que são dosados.

Dosagem de coagulante e floculante: produtos químicos utilizados para a decantação dos sólidos que não decantaram no tanque de pré-decantação.

Decantador: tanque utilizado para a decantação dos sólidos. Depois da adição dos produtos químicos o efluente escoar para este tanque para que ocorra a decantação. A água tratada é bombeada para o tanque de água tratada. Os sólidos que decantaram (lodo) vão para o tanque de lodo.

Tanque de água tratada: tanque para onde a água tratada na estação de tratamento é bombeada. Este tanque armazena esta água até ser utilizada no processo produtivo.

Tanque de lodo: tanque que armazena o lodo gerado no tanque de pré-decantação e no decantador, de onde o lodo é enviado para o filtro-prensa.

Filtro-prensa: filtra e prensa o lodo, retirando aproximadamente 75% da água. Após esse processo o que foi prensado chama-se “torta de lodo”.

Disposição final: carregamento da torta de lodo para armazenamento no parque fabril.

A fábrica da Portobello S/A chega a gerar em média 54 toneladas de resíduos por dia proveniente da etapa de polimento do porcelanato. Até a data da coleta, o resíduo permanecia armazenado em galpões locados no pátio fabril, sendo posteriormente encaminhado ao seu destino final, o aterro industrial (PORTOBELLO, 2007).

3.2 AS INDÚSTRIAS CERÂMICAS E A QUESTÃO AMBIENTAL

De acordo com Maimon (1996), até a década de 70, o comportamento ambiental das empresas era de evitar acidentes locais e de trabalho e, nos países desenvolvidos cumprir as normas de antipoluição determinadas por órgãos reguladores. Assim, as empresas, tanto brasileiras como estrangeiras, se desenvolveram economicamente no Brasil, adotando uma postura ambiental predatória, pois os recursos naturais eram abundantes e os desastres ecológicos poucos.

Então, nos anos 80, começou a conscientização global de que os problemas ambientais ultrapassam fronteiras. Com isso, aumentou a pressão da opinião pública sobre as ações poluidoras das indústrias, surgindo um novo modelo de comportamento ambiental: o ético ambiental, onde as empresas se comprometem com a sociedade a adotar atitudes proativas (MAIMON, 1996).

No Brasil, a política de controle ambiental iniciou-se em 1975, com o decreto do governo federal que condicionava a aprovação de projetos industriais à observância de normas antipoluidoras (ALLEGRETE, 2004). Porém, a indústria brasileira de cerâmica ainda apresenta algumas deficiências em relação ao meio ambiente. Os principais problemas

ambientais deste setor estão na extração de matérias-primas, na pigmentação das peças cerâmicas e no lodo gerado das Estações de Tratamento de Efluentes (ETE).

A etapa de extração das matérias-primas naturais apresenta diversos problemas: mão de obra desqualificada e de alta rotatividade; extração sem planejamento e predatória, que pode levar a um mau uso e desperdício da reserva natural; pesquisa geológica deficiente, a qual não garante a qualidade da matéria-prima natural e pode prejudicar o melhor aproveitamento da matéria-prima e a minimização de impactos ambientais (FERRARI, 2000). Os problemas encontrados nesta primeira etapa da cadeia produtiva interferem diretamente nas etapas seguintes da produção.

A quantidade de água e de matéria-prima empregadas depende do tipo de matéria-prima utilizada, do processo de fabricação envolvido e das propriedades do produto desejado (OLIVEIRA & MAGANHA, 2006). Assim, a produção de cerâmicas por via seca, onde a mistura de matéria-prima é umedecida entre 7 e 12 % do peso seco, consome-se menos água, conseqüentemente produz menos efluente. Este processo é o mais utilizado atualmente. Ao contrário da via úmida, a matéria-prima é misturada com água até um conteúdo de umidade de 42% do peso seco. Após a granulação, o material é secado até um conteúdo de umidade de 5-6%, consumindo muito mais água e energia para realizar a secagem (OLIVEIRA & MAGANHA, 2006).

Outro aspecto importante é a elevada perda de matéria-prima e insumos durante o processo de produção. Segundo Grego (1998), verifica-se uma perda de até 15% desde a matéria-prima ao produto acabado. As quebras, presença de trincas ou bolhas, a queima indevida e irregularidades nas peças são causas desde elevado número de perda, conseqüentemente maior consumo de matéria-prima e insumos para o processo fabril. Isto poderia se evitado com um maior controle e treinamento técnico.

Outra etapa da produção da fabricação de revestimentos cerâmicos com grande potencial poluidor é a pigmentação das placas cerâmicas. Nos coloríficos, Figueiredo Filho *et al* (1999) constataram o elevado consumo de água durante a fabricação de fritas e o consumo de metais tóxicos na composição dos insumos para decoração. Durante a preparação do esmalte são

introduzidos na suspensão um ou mais produtos químicos com a finalidade de proporcionar ou corrigir determinadas características. Entre eles podemos citar ligantes, plastificantes, defloculantes, fluidificantes e antiespumantes. Além destes aditivos, para conferir coloração aos esmaltes, são adicionados corantes, que em geral são óxidos de ferro, de cobalto, de manganês, de cobre, de cádmio, de chumbo e de selênio (OLIVEIRA *et al*, 2006). Sendo que alguns desses elementos contribuem negativamente na questão ambiental das indústrias de fabricação de placas de revestimentos cerâmicos, pois acarretam a geração de resíduos tóxicos (ABCeram, 2007).

A emissão atmosférica é mais um problema ambiental da indústria de revestimentos cerâmicos. As principais fontes de poluentes são: a moagem da matéria-prima, onde ocorre a emissão de partícula de argila, quartzo e feldspato; a queima ocorre a emissão de gases como o NO₂, CO e CO₂ e compostos orgânicos voláteis (COVs); na prensagem das peças também tem-se emissão de particulados (OLIVEIRA *et al*, 2006).

Os efluentes, numa indústria cerâmica, são produzidos basicamente em três setores: preparação de massa, preparação de esmaltes e linhas de esmaltação. A geração desses resíduos deve-se à limpeza de equipamentos e sobras de produção. No caso de resíduos de massa, estes provem de peneiramentos da barbotina antes da atomização da massa (BERNARDIN *et al*, 2006; FERNANDES, 2002).

O setor de porcelanato e grês polido, que fazem parte da indústria de revestimentos cerâmicos, também sofre com a grande geração de resíduos, provenientes em sua maioria do tratamento dos efluentes desta etapa, que não podem ser utilizados na mesma linha de produção (FERNANDES, 2002; PEREIRA, 2004).

A medida mais comumente adotada pelas indústrias de cerâmicas é o tratamento (seja físico-químico ou biológico) dos efluentes gerados. Para o tratamento desses efluentes gerados no decorrer dos processos industriais, são implantadas as Estações de Tratamento de Efluentes (ETE), de onde resulta o lodo que, depois de prensado em filtro-prensa, é compactado em blocos chamados comumente de torta de lodo ou apenas torta; enquadrados como resíduos

sólidos perigosos ou não-perigosos. Sua disposição tem um custo elevado e pode afetar as características ambientais da região caso seja disposto indevidamente.

Os resíduos que se produzem nos processos de fabricação de revestimentos cerâmicos esmaltados são de aproximadamente 6% em peso das matérias-primas utilizadas no processo. Não obstante, somente 10% destes resíduos, das lamas do tratamento de água, podem ser tóxicos e perigosos, o restante são resíduos inertes (MONFORT *et al.*, 1996).

A indústria de revestimento cerâmico gera resíduos, alguns enquadrados na classificação de resíduo sólido IIa (não-inerte), que devem ter um tratamento especial, pois seu armazenamento inadequado pode apresentar sérios riscos à saúde humana e ao meio ambiente, necessitando de tratamento prévio antes de seu descarte (FERNANDES, 2002; LORENZI, 2005; KUMMER, 2007).

Devidos as crescentes restrições aos descartes de resíduos industriais, ao desmatamento e à qualidade do ar, água e solo, impostas pelas leis ambientais, é cada vez maior o número de indústrias em busca da correta destinação ou do reaproveitamento dos rejeitos gerados em seus processos (FERNANDES, 2002).

O conceito de reutilização e de reciclagem vem sendo empregado como solução ao destino final da enorme quantidade de rejeitos gerados na maioria das indústrias. Contudo, deve-se ter o mínimo de cautela na aplicação desta metodologia. Por isso, estudos devem ser realizados para analisar cientificamente este potencial de reciclagem dos resíduos industriais, entre eles uma avaliação toxicológica. Nas avaliações ecotoxicológicas é importante utilizar mais de um organismo teste, pois diferentes organismos fornecem diferentes tipos de informações a respeito da toxicidade da água e do sedimento (CHEUNG *et al.*, 1997).

A elaboração de um modelo de desenvolvimento auto-sustentável, na questão ambiental, vem sendo considerado como objetivo principal dentro de uma sociedade consciente.

3.3 VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

A produção de resíduos gerados levanta a problemática de dar uma finalidade a estes sem prejudicar mais o meio ambiente. No Brasil, estima-se que a cada três anos um hectare do solo seja ocupado por estes resíduos (LUCKMANN *et al*, 2006).

O número de indústrias em busca da correta destinação ou do reaproveitamento dos rejeitos gerados em seus processos vem aumentando. Fato que está vinculado à existência de leis ambientais vigentes que impõem crescentes restrições aos descartes de resíduos industriais, ao desmatamento e à qualidade do ar, água e solo, o que acarreta em uma considerável pressão ambiental sobre a indústria e um considerável aumento de gastos financeiros. Além disso, o mercado consumidor está aumentando sua conscientização ambiental e exigindo cada vez mais das indústrias (NUNES JR, 2002).

A busca pela melhoria da qualidade ambiental está intimamente relacionada à redução de resíduos gerados pela atividade industrial; originando assim o movimento mundial pela reciclagem. Podemos então definir reciclagem como o conjunto de técnicas cuja finalidade é aproveitar detritos e rejeitos e reintroduzi-los no ciclo de produção (MENEZES *et al*, 2002).

Assim a reciclagem, palavra de ordem dentro dos sistemas modernos de gerenciamento, surge como importante opção, em face de sua grande flexibilidade operacional e da possibilidade de sua aplicação em sistemas de baixo custo (FURTADO, 2000).

A reciclagem vem sendo vista como uma boa alternativa para o problema dos resíduos. Este modelo teve seu início juntamente com a revolução industrial, que trouxe consigo a geração de grande quantidade de resíduos e o aumento de materiais e produtos descartados com a intensificação das relações de consumo. Atualmente a reciclagem é uma grande e bem fundamentada indústria, com vários tipos de materiais sendo coletados, separados, processados e comercializados em todo o mundo. Entre esses materiais, destaque-se os resíduos sólidos industriais em virtude do enorme potencial ambiental e econômico de sua reciclagem (MARQUES *et al*, 2007).

Nos últimos anos, a pesquisa sobre a reciclagem de resíduos industriais vem sendo intensificada em todo o mundo. Na América do Norte e Europa, a reciclagem é vista, pela iniciativa privada, como um mercado altamente rentável. Muitas empresas investem em pesquisa e tecnologia, o que aumenta a qualidade do produto reciclado e propicia maior eficiência do sistema produtivo. No Brasil, diversos pesquisadores têm-se dedicado ao estudo desse tema, obtendo-se resultados bastante relevantes; todavia, a reciclagem ainda não faz parte da cultura dos empresários e cidadãos possuindo índices de adeptos insignificantes frente ao montante (MENEZES *et al*, 2002).

Dentre as inúmeras vantagens do reaproveitamento dos resíduos industriais, pode-se citar a diminuição do volume de resíduos enviados para aterros industriais, diminuindo assim, os custos com destinação e transporte; a economia de energia e recursos naturais, além da melhoria da imagem da empresa frente ao mercado consumidor.

A indústria cerâmica é uma das que mais se destacam na valorização de resíduos industriais e urbanos, com capacidade de consumo de grandes quantidades de diversos tipos de resíduos em virtude de possuir elevado volume de produção e que, aliado às características físico-químicas das matérias-primas cerâmicas e às particularidades do processamento cerâmico, faz da indústria cerâmica uma das grandes opções para a reciclagem de resíduos sólidos (LORENZI, 2005; MENDES, 1998; NEVES, 2000).

Além disso, o resíduo proveniente do processo de polimento de piso porcelanato ou grês porcelanato, das indústrias de revestimentos cerâmicos, possuem um grande potencial para serem utilizados como matéria-prima alternativa na formulação de massas para a indústria cerâmica vermelha ou fabricação de cimento, por exemplo. Esta potencialidade está relacionada com a composição químico-minerológica do resíduo; a sua natureza não plástica e não causa poluição durante a fabricação de produtos cerâmicos (ANDRADE & PASKOCIMAS, 2007).

Vários estudos já foram realizados visando à utilização de resíduos industriais oriundos de diversos processos de fabricação para a formulação de massas cerâmicas. Mendes (1998) desenvolveu, em escala laboratorial, agregados leves a partir de lodo da indústria têxtil.

Avaliou a influência de várias formulações na morfologia e concluiu que é uma alternativa viável para a utilização e disposição de lodos industriais. Já Oliveira *et al.*(2000) avaliaram a viabilidade de utilização do resíduo proveniente do processo de fabricação de papel, em massa de revestimentos tipo semi-grés. Foram feitos corpos de prova com incorporações de 2 a 7,5%, na temperatura de 1180 °C. Os resultados mostraram que o resíduo pode ser utilizado, em uma proporção de até 4%, para melhorar a resistência mecânica e a absorção de água do produto final.

Estudo realizado por Neves *et al.*(2000) estudaram sobre o aproveitamento dos resíduos oriundos do beneficiamento de granitos na fabricação de tijolos cerâmicos. Os resultados obtidos em laboratório, após diversos ensaios de caracterização das propriedades químicas e físicas, com 31% de lodo e temperaturas na faixa de 1000 °C a 1200 °C, indicaram a possibilidade de utilização destes resíduos na fabricação de tijolos maciços.

Também, Soares *et al.*(2001) estudaram sobre a adição de serragem de couro curtido como matéria-prima para a produção de cerâmica vermelha. Foram realizadas diversas incorporações do resíduo à mistura de argilas e os resultados demonstraram um crescimento da resistência mecânica.

Rosa (2002) estudou a viabilidade de obtenção de placas cerâmicas para revestimentos, a partir de resíduos de diversos setores industriais. Nas 31 formulações foram acrescentados percentuais variáveis de resíduos gerados em indústrias de revestimentos cerâmicos, metalúrgicas e mineradoras. Neste estudo, concluiu que é possível utilizar matérias-primas não convencionais e obter um comportamento semelhante aos produtos fabricados com matérias-primas tradicionais.

A possibilidade da incorporação de resíduo da indústria cerâmica em outros processos industriais também já foi foco de estudos. Sousa (2003) relatou em sua dissertação de mestrado que é possível utilizar o resíduo de esmaltação de uma indústria de revestimento cerâmicos para a produção de isoladores, já que após a caracterização do resíduo usado pelo autor, verificou-se uma grande semelhança na composição química com o material usado para a fabricação de isoladores elétricos e também na formação da fase vítrea.

Casagrande (2002) analisou o efeito da adição de chamote semi-gresificado (caco) na massa cerâmica. Foram comparados os resultados de 5 formulações, entre 1 e 30 % de incorporação do caco em massa cerâmica. O autor descreveu as principais características físico-químicas e concluiu que a adição de até 10 % de caco a massa cerâmica não influencia nas características físico-químicas do material.

Fernandes (2002), em seu trabalho de dissertação de mestrado, analisou a viabilidade do reaproveitamento da torta da estação de tratamento de efluentes de uma indústria de revestimentos cerâmicos, através da adição desta à massa de grés. O trabalho teve o objetivo de propor uma solução à enorme quantidade de lodo produzido na empresa fabricante de revestimentos cerâmicos Portobello, em Tijucas, SC. Os resultados dos ensaios laboratoriais demonstraram que a incorporação de até 5 % de lodo na massa padrão não afetou as características de absorção d'água, retração linear, e resistência mecânica. O trabalho concluiu que a incorporação de 1% do lodo no processo de fabricação de massa, já trazia benefícios na redução de custos com matérias primas e a diminuição de quase 50% do peso dos resíduos enviados para aterros industriais ao ano.

O potencial de incorporação de diversos resíduos, inclusive do polimento de porcelanatos, nas formulações de cerâmicas tradicionais, destaca a importância da reutilização de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas, racionalizando o uso dos recursos naturais.

A diminuição gradual na abundância dos recursos minerais causou a recente tendência em substituir minerais por matérias-primas alternativas que estão disponíveis em abundância, como os resíduos industriais (MENEZES, 2007). O que está em acordo com a abordagem ambiental mais recente, que objetiva o desenvolvimento sustentável e enfatiza que o gerenciamento dos resíduos é uma das questões mais importantes tanto para a saúde pública como para o desenvolvimento industrial (NEVES, 2007; CAMPOS *et al*, 2007).

Outro desafio da reciclagem dos resíduos sólidos é a avaliação ambiental do material. Para dar outra finalidade a este material, é necessário um estudo ambiental deste resíduo, dentre as quais está uma avaliação toxicológica. Para isto, é necessário estar em conformidade com a

Portaria nº 17/2002 da FATMA, para que o mesmo possa ser utilizado como matéria prima na fabricação de tijolos.

3.4 TOXICOLOGIA AMBIENTAL E ECOTOXICOLOGIA

Toxicologia é definida como a ciência que estuda o efeito adverso de substâncias químicas sobre os organismos vivos, com a finalidade principal de identificar os riscos relacionados à exposição de um poluente e assim prevenir o aparecimento destes efeitos, ou seja, estabelecer o uso seguro destas substâncias químicas (ZAKRZEWSKI, 1994; CHASIN e PEDROZO, 2003; KNIE, 2004; MATIAS, 1996).

De acordo com Yu (2005), a toxicologia é uma ciência multidisciplinar, que abrange uma vasta área de conhecimento, onde atuam profissionais de diversas formações: Química, Química Analítica, Matemática, Biologia, Bioquímica, Pedagogia, Botânica, Ecologia, Geologia, Saúde Pública, Farmacologia, Fisiologia, Aplicada a Alimentos, Genética, Experimental, Estatística e outras áreas, relacionando-se estritamente com essas diversas ciências, pois sem essa interrelação dos conhecimentos, dificilmente poderá atingir seus objetivos: prevenir, diagnosticar e tratar.

Compreendem basicamente os seguintes ramos da toxicologia: Toxicologia Clínica, que estuda os efeitos de drogas sobre pacientes humanos. Toxicologia Forense, na qual o objetivo baseia-se em detectar o uso ilegal de agentes tóxicos para fins judiciais. Toxicologia Ocupacional é o ramo recente da toxicologia que se ocupa do estudo de ações e efeitos danosos de substâncias químicas usadas no ambiente de trabalho sobre o organismo humano buscando, principalmente, obter conhecimentos que permitam estabelecer critérios seguros de exposição por meio de índices de segurança a ser observados no ambiente laboral. Toxicologia Ambiental que se preocupa com o destino dos agentes tóxicos, seus metabólitos e produtos de degradação no ambiente e nas cadeias alimentares e com o efeito desses contaminantes sobre os organismos e populações (CHASIN & AZEVEDO, 2003; COSTA *et al.*, 2008).

A toxicologia ambiental considera que a sobrevivência humana depende do bem-estar de outras espécies e da disponibilidade e qualidade de ar, água, solo e alimentos se preocupando com o destino dos agentes tóxicos, seus metabólitos e produtos da degradação no ambiente e nas cadeias alimentares sobre os organismos e as populações. Esta ciência considera também que as substâncias químicas de origem antropogênica podem ocasionar efeitos danosos aos organismos vivos e aos processos biológicos (ZAKRZEWSKI, 1994).

Através da multidisciplinaridade da Toxicologia e subdivisões ocorridas na área da Ecologia, como a Ecologia aquática, terrestre, de populações, de comunidades, entre outras, na década de 1970, toxicologistas e ecologistas perceberam que havia algo de comum entre estas duas disciplinas. A partir desta linha de pensamento, com a associação dos conhecimentos de Toxicologia com Ecologia surgiu a Ecotoxicologia (ZAGATTO, 2006).

O termo “Ecotoxicologia” foi sugerido pela primeira vez, em junho de 1969, durante uma reunião do Committee of the Internacional Council of Scientific Unions (ICSU) em Estocolmo, pelo toxicologista francês René Truhaut (WALKER, 1997).

A definição de Ecotoxicologia (associação entre toxicologia e ecologia) foi publicada em 1976 e é definida como a ciência que estuda os efeitos de uma ou mais substâncias naturais ou sintéticas (agentes tóxicos) sobre os organismos vivos, populações e comunidades, animais ou vegetais, terrestres ou aquáticos, que constituem a biosfera, incluindo assim a interação das substâncias com o meio nos quais os organismos vivem num contexto integrado (PLAA, 1982 *apud* ZAGATTO, 2006).

Para Chasin & Pedroso (2003), a Toxicologia Ambiental, assim como a Ecotoxicologia, tratam-se de sinônimos e são termos empregados para descrever o estudo científico dos efeitos adversos causados aos organismos vivos referentes ao despejo de substâncias nocivas no meio ambiente.

Contudo, a expressão Toxicologia Ambiental geralmente é empregada aos estudos que abordam os efeitos diretos das substâncias químicas sobre os seres humanos, ou seja, de forma individual e o termo Ecotoxicologia, trataria somente dos estudos referentes aos efeitos

desses compostos sobre populações e suas interações nos ecossistemas (CHASIN & PEDROSO, 2003; MATIAS, 1996).

Ainda, alguns autores consideram a Ecotoxicologia uma subdivisão da Toxicologia Ambiental. Assim a Toxicologia Ambiental estuda os efeitos de contaminantes ambientais sobre indivíduos vivos e, a Ecotoxicologia é um ramo da toxicologia ambiental, que estuda os efeitos dos contaminantes ambientais sobre as populações, considerando aspectos como mobilidade, degradação, bioacumulação e bioamplificação dos contaminantes (BRENTANO *et al*, 2005; MACHADO, 2005; OGA & DE SIQUEIRA, 2003).

A Ecotoxicologia posiciona-se nas Ciências do Ambiente como geradora de um tipo de conhecimento básico e essencial para a formulação segura de dispositivos legais, normas, programas e diretrizes gerenciais para enfrentar questões de risco ambiental, potencial ou real, determinado pelo uso e pelo lançamento de agentes nocivos no ambiente (FLOHR, 2007).

Para a análise dos efeitos tóxicos das substâncias ou misturas são realizados testes de toxicidade que visam prever o impacto potencial de um xenobiótico (agente tóxico) ao meio ambiente (BRENTANO *et al*, 2005).

Os testes utilizados em ecotoxicologia são relativamente novos, sendo muitos deles padronizados. Entretanto, sua utilidade em prever os impactos ambientais e de proteção aos ecossistemas é frequentemente, incertos (RAND *et al*, 1995). Esses estudos baseiam-se na exposição de organismos representativos do ambiente às várias concentrações de substâncias a serem avaliadas ou fatores ambientais por um determinado período de tempo, visando observar os efeitos sobre as funções biológicas fundamentais crescimento, desenvolvimento, bem como mutações ou morte.

Qualquer que seja o termo empregado, essa área da toxicologia tem por finalidade saber se as substâncias químicas, de formas isoladas ou misturadas, são nocivas, e como, onde e em que escala manifestam seus efeitos (MATIAS, 1996).

3.4.1 Definição do organismo teste

A escolha do organismo-teste tem influência principal na complexidade e relevância, no sucesso, e na interpretação de um teste de toxicidade. É necessário que essa espécie seja sensível a uma diversidade de agentes químicos, de maneira que possibilite a obtenção de resultados precisos, garantindo desta forma boa repetibilidade e reprodutibilidade dos resultados (BERTOLETTI & DOMINGUES, 2006). Isso reflete também em optar pelo uso de organismos jovens para a realização destes testes. Outros requisitos importantes são a disponibilidade e facilidade de cultivo em laboratório, abundância do organismo no ambiente (para coleta e busca de novas cepas) e também conhecer a biologia da espécie.

Os testes de toxicidade tem sido realizados com uma ampla variedade de espécies representantes de diferentes níveis tróficos. Devido a essa imensa quantidade e diversidade de espécies, a definição do organismo a ser utilizado deve ser baseada em considerações específicas do problema a ser solucionado. Ainda, não existe uma espécie que atenda a todos estes requisitos, para todos os ecossistemas (RAND *et al.*, 1995).

Para a realização de testes de toxicidade utilizando organismos aquáticos vários autores (RAND *et al.*, 1995; BERTOLETTI & DOMINGUES, 2006) sugerem a utilização de no mínimo três espécies representantes do ecossistema aquático: uma espécie de alga (representando os produtores); uma espécie de crustáceo (representando os consumidores primários e/ou secundários) e uma espécie de peixe (representando os consumidores secundários e/ou terciários).

Uma espécie que atende a vários critérios para a seleção de um organismo-teste é o microcrustáceo do gênero *Daphnia*. Este organismo tem sido utilizado como organismo-teste em diversas partes do mundo, tendo a sua metodologia de teste padronizada internacionalmente.

Para o ecossistema terrestre, os principais organismos utilizados como bioindicadores são hortaliças, principalmente no estágio de semente e os decompositores, onde pode se citar os anelídeos, representados pelas minhocas.

Segundo Pelegrini *et al* (2006), os testes de toxicidade utilizando vegetais constituem recurso prático de baixo custo, de sensibilidade razoável na indicação qualitativa da presença de substâncias tóxicas ou inibidores biológicos como os pesticidas e herbicidas empregados nas lavouras.

As minhocas representam uma alternativa viável para a realização dos testes ecotoxicológicos por serem organismos simples de serem estudados. Além disso, as minhocas são um importante elo na cadeia trófica terrestre, constituindo uma fonte de recurso para uma grande variedade de organismos, incluindo aves, mamíferos, répteis, anfíbios e insetos (HINTON, 2002), bem como na cadeia aquática, podendo ser alimento para peixes e outros organismos.

3.4.2 Microcrustáceo *Daphnia magna*

A *Daphnia magna* STRAUS, 1820 (Cladocera, Crustácea), vulgarmente conhecida como pulga d'água, não é naturalmente encontrada no Brasil, pois é um microcrustáceo planctônico de água doce, sendo encontrada em grande escala em lagoas, lagos e represas das regiões temperadas (hemisfério norte). No Brasil é relatada a presença natural das espécies *D. gessnerii*, *D. ambigua* e *D. laevis* (MATSUMURA-TUNDISI, 1984), sendo que as mais cultivadas laboratorialmente são as espécies *D. similis* e *D. magna*.

Segundo Ruppert e Barnes (1996), *D. magna* é classificado taxonomicamente no filo Arthropoda, subfilo Crustacea, classe Branchiopoda, ordem Diplostraca, subordem Cladocera, família Daphniidae, gênero *Daphnia* e espécie *Daphnia magna* STRAUS (norte).

A *D. magna* possui um comprimento médio de 0,5 mm, na fase juvenil a 5 mm, na fase adulta (KNIE *et al.*, 2004). Sobrevivem em águas com dureza superior a 150 mg/L (CaCO₃), e com oxigênio dissolvido menor que 4 mg/L (EPA, 2002). Essa espécie suporta águas com pH entre 6,5 e 9,5, sendo pH ótimo entre 7,2 e 8,5.

Este organismo possui o corpo dividido em segmentos (cabeça, tórax e abdômen) envolvido por uma carapaça bivalve transparente e terminando em um espinho apical, conforme

mostrado na Figura 5 (FINKLER, 2002). Em seu abdômen posterior, dispõe de pinças especiais destinadas à limpeza da carapaça.

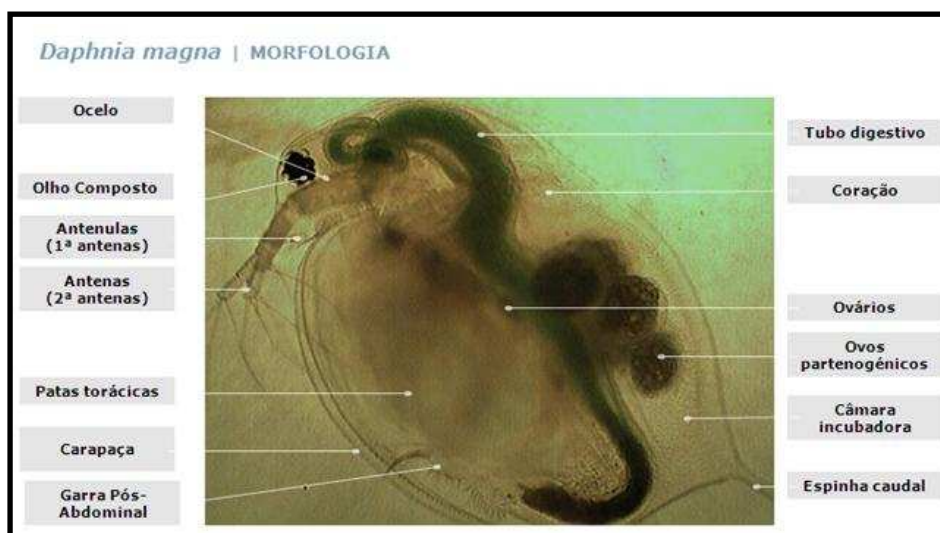


Figura 5 - Morfologia *Daphnia magna*.
Fonte: site DAPHNIA (2009).

A cabeça possui dois pares de antenas na cabeça, sendo um par de antena secundária grande, que sai de cada lado da cabeça, possui ramificações auxiliando na locomoção e o outro par de antena primária que é menor funcionando como órgão sensorial. O olho composto e móvel serve para orientar o corpo na locomoção (BARNES, 1977).

É um animal fácil de cultivar em laboratório, com baixo custo, que requer pouco espaço e pequenas quantidades de soluções aquosas. Assim, o microcrustáceo *Daphnia magna* STRAUS vem sendo utilizado há décadas como bioindicador em laboratórios para ensaios ecotoxicológicos, principalmente por se tratar de uma espécie sensível à uma grande variedade de agentes nocivos, manuseio simples, seus descendentes são geneticamente idênticos, assegurando uniformidade de respostas nos ensaios e, seu ciclo de vida e reprodução são curtos, facilitando sua utilização em testes crônicos (KNIE & LOPES, 2004).

Estes microcrustáceos atuam na cadeia alimentar aquática como consumidor primário entre os metazoários, alimentando-se por filtração de material orgânico particulado, principalmente de algas unicelulares e bactérias. (KNIE & LOPES, 2004), se adaptando bem à *blooms* de algas, devido à grande concentração de proteínas e carboidratos neste ambiente. O tipo de alimento e

sua abundância afetam a sensibilidade das daphnias aos poluentes e à sua taxa de reprodução (EPA, 2002).

O seu ciclo de vida, que compreende a fase do ovo ao adulto é variável e dura em média cerca de 50 a 60 dias a 20°C, porém, o tempo de vida diminui com o aumento da temperatura, sendo de 40 dias à 25°C. Seu crescimento, assim como todos os pertencentes ao filo Arthropoda se dá após a ecdise (muda). Na fase pré-adulta a muda ocorre quase que diariamente, enquanto que os indivíduos adultos realizam a muda a cada 2 ou 3 dias (BERTOLETTI & DOMINGUES, 2006).

As *D. magna* se reproduzem por partenogênese cíclica, gerando clones próprios. Assim, durante a maior parte do ano, as populações consistem quase inteiramente de fêmeas, sendo o aparecimento de machos mais freqüente nas estações da Primavera e Outono ou quando existir algum estresse ambiental como baixas temperaturas, alta densidade de indivíduos e subsequente acumulação de produtos de excreção, presença de salinidade, escassez de alimento ou ainda interferências antrópicas. Estas condições podem induzir o aparecimento de ovos sexuados, ou efípios. A determinação do sexo é baseada em mudanças na estrutura da cromatina, quando a mãe recebe um sinal específico que a reprodução sexuada é necessária para adaptação em condições extremas. (EPA, 2002). Os machos são facilmente reconhecidos, pois possuem um tamanho inferior ao da fêmea, apresentam um corpo mais fino e nadam mais rápido. Na Figura 6 é possível visualizar um exemplar fêmea de *D. magna* (A), um macho (B) e o detalhe em uma bolsa incubadora com efípio (C).

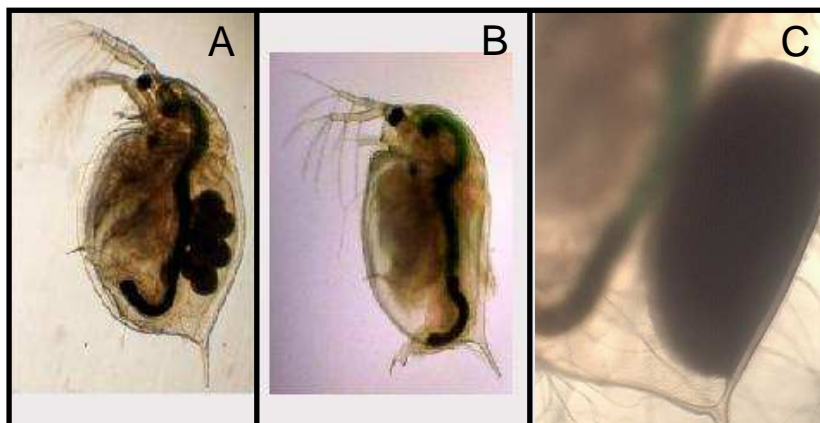


Figura 6 - (A) Fêmea de *D. magna*; (B) macho de *D. magna*; (C) detalhe para bolsa incubadora contendo efípio. **Fonte:** site DAPHNIA (2009).

De acordo com Barnes (1977), os efípios flutuam ou submergem no fundo dos lagos e podem resistir à seca e ao congelamento. Através destes ovos de resistência as daphnias podem dispersar-se a certas distâncias por influência do vento ou de animais, e superar o inverno ou um período de estiagem. Assim que as condições de água e temperatura forem apropriadas os efípios eclodem em poucos dias (EPA, 2002).

A fase de reprodução das daphnias geralmente se inicia com 5 a 10 dias de idade e a duração das gestações aumenta com a idade do organismo, mas também depende das condições ambientais. A gestação dura aproximadamente dois dias em condições ideais, mas em condições adversas ela pode durar mais de uma semana. (EPA, 2002).

Segundo Knie & Lopes (2004), a escolha da *Daphnia magna* como organismo-teste fundamenta-se principalmente nos seguintes critérios:

- os descendentes são geneticamente idênticos, o que assegura certa uniformidade de respostas nos ensaios;
- a cultura em laboratório sob condições controladas é fácil e sem grandes dispêndios;
- o ciclo de vida e de reprodução é suficientemente curto, o que permite usar as daphnias também em testes crônicos;
- a *Daphnia magna* é internacionalmente reconhecida como organismo-teste e
- vem sendo utilizada há décadas em laboratórios ecotoxicológicos.

3.4.3 Oligoqueta *Eisenia fetida*

As minhocas são animais anelídeos da classe Oligochaeta, distribuídas pelos solos úmidos de todo o mundo, algumas de apenas centímetros e outras com um a dois metros de comprimento, caso da minhocuca. As minhocas têm o corpo cilíndrico, formado por anéis (segmentos corporais), alongado, com a boca e o ânus, em extremidades opostas; e um anel mais claro, o clitelo, mais próximo da região anterior.

São animais subterrâneos, escavam galerias e canais, buscando abrigo e restos vegetais, seu principal alimento, ingerido com grandes quantidades de terra. Elas são, portanto, animais

detritívoros, pois se alimentam de detritos de várias origens, que compõem o húmus (MARTINEZ, 1995).

Estima-se que no mundo haja mais de 8000 espécies de minhocas, embora apenas cerca de 50% são conhecidas (FRAGOSO *et al.*, 1997 *apud* JAMES & BROWN). Destas, poucas apresentam potencial para alguma atividade econômica, sendo que, para a vermicompostagem, a *Eisenia fetida* Savigny é a mais difundida em todo o mundo, também conhecida como minhoca Vermelha-da-Califórnia.

No Brasil existem em torno de 26 espécies de minhocas classificadas em 18 famílias (sendo a mais comum a família Glossoscolecidae), apesar de que a maioria das espécies mais frequentes em solo brasileiro são estrangeiras introduzidas para fins comerciais (tais como a *Eisenia fetida*, originária do oeste os EUA, e a *Eudrilus eugeniae*, originária da África). Dentre as espécies nativas destacam-se a *Glossoscolex giganteus*, a primeira espécie descrita no Brasil em 1836 por Leuckard, com espécime encontrada no Rio de Janeiro; a *Pontoscolex corethrurus*, considerada a espécie mais comum em solo brasileiro; e *Rhinodrilus alatus*, conhecido popularmente como minhocuçú, endêmico do cerradocentral do estado de Minas Gerais.

As minhocas são consideradas monóicas, ou seja, são hermafroditas, apresentando os órgãos sexuais masculinos e femininos no mesmo indivíduo. Apesar disso, afirma-se que a *E. fetida* não se autofecunda, dependendo de fecundação cruzada para produzir casulos (MARTINEZ, 1998; FERRUZZI, 2001; RODRÍGUEZ *et al.* 2003), embora em casos de isolamento possa ocorrer autofecundação (SIMS & GERARD, 1999; EDWARDS & BOHLEN, 1996).

A minhoca mais utilizada nos teste de ecotoxicidade é a vermelha-da-Califórnia ou minhoca de esterco (*Eisenia fetida*), esta preferência deve-se a sua habilidade em converter resíduos orgânicos pouco decompostos em material estabilizado, extraordinária proliferação e rápido crescimento (BARROS, 2007).

A oligoqueta *Eisenia fetida* (Savigny, 1826), conhecida como minhoca vermelha californiana, é classificada taxonomicamente no Reino Animalia, Filo Annelida, Classe Clitellata, Ordem

Haplotaxida e Família Lumbricidae. Possui o corpo cilíndrico medindo de 35 a 130 mm de comprimento e de 3 a 5 mm de diâmetro e pode apresentar as seguintes colorações: roxo, vermelho, vermelho escuro e marrom - avermelhado; há indivíduos cujo corpo é unicolor, e indivíduos cujas cores são intercaladas entre o marrom-avermelhado na região dorsal e um tom de amarelo nas áreas apigmentadas entre os segmentos. A coloração vermelha é restrita apenas à região dorsal (Figura 7).

A minhoca *E. fetida* apresenta listras evidentes ao longo do corpo e despigmentação na área que circunda o sulco entre seus segmentos, mostrando-se amarela ou pálida. Em diversos países, essas características fizeram-na ser vulgarmente conhecidas por “minhoca-listrada” ou “minhoca-tigre” (GUIMALHÃES, 2008).

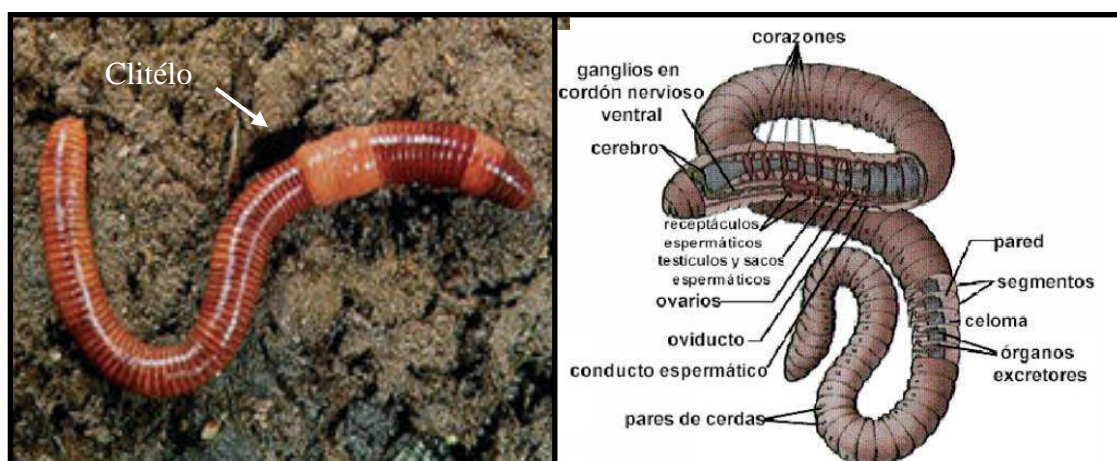


Figura 7 - (A) Foto de uma organismo de *E. fetida* adulto com clitelo desenvolvido. (B) Anatomia da *E. fetida*.
Fonte: site LOMBRIMUNDO (2009).

Seu ambiente natural é a camada superficial do solo, em esterco animal e material de compostagem. Alimentam-se de frutas e vegetais em decomposição, consumindo pouco solo. São principalmente utilizadas para compostagem de restos de vegetais e frutas e esterco animal. Vivem no máximo de 4 - 5 anos, porém normalmente atingem apenas 2 anos de vida. Quando é ameaçada a minhoca secreta pelos poros, da superfície superior do corpo, uma substância fétida amarela que age em defesa do animal, o odor afasta possíveis predadores.

Por possuir ciclo de vida curto, assimilar facilmente diversos tipos de substrato, tolerar amplas faixas de temperatura e umidade, a espécie de minhoca vermelha-da-califórnia,

historicamente, é a mais utilizada na reciclagem de resíduos orgânicos, em estudos de ecotoxicologia, de fisiologia e de genética.

Em condições favoráveis, as minhocas atingem a maturidade sexual e com completa formação do clitelo, dentro de 40 a 60 dias, quando então estarão aptas à reprodução. Após a cópula e a conseqüente troca de gametas masculino ocorre a fecundação, que cerca de quatro dias depois, dá origem aos casulos, uma espécie de bolsa que se forma a partir do clitelo. O clitelo é uma região mais espessa que se situa na porção anterior da minhoca, sendo facilmente visível nas adultas.

O casulo, ilustrado na Figura 8 (B), contém as reservas nutritivas para o desenvolvimento do embrião, que leva de 14 a 44 dias, com uma média de 23 dias, ocorrendo então a eclosão das minhocas-filhas. Cada casulo pode dar origem a um número de minhocas que varia de 1 a 9, com frequência média de 3 minhocas por casulo (VENTER & REINECKE, 1988).

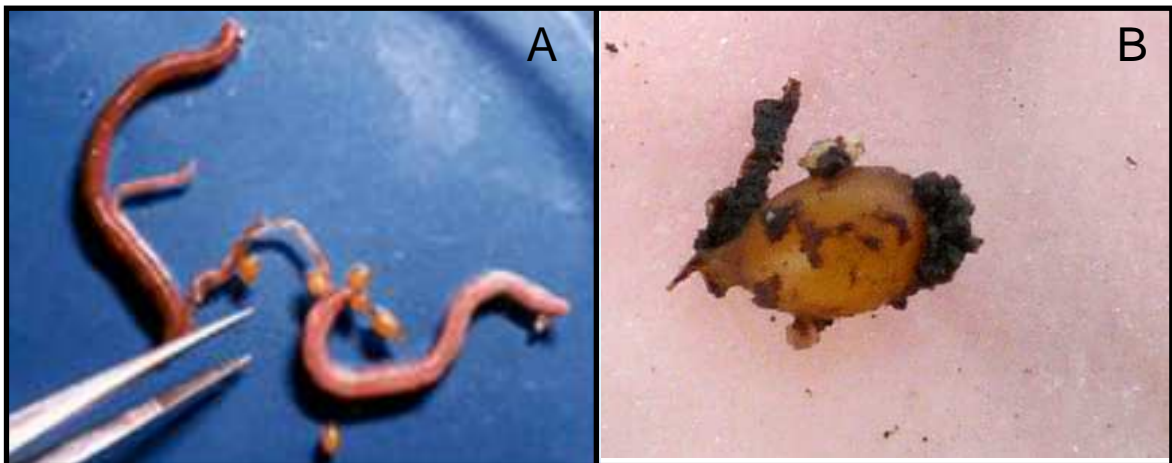


Figura 8 - (A) Foto de ovos *E. fetida*, organismo jovem e adulto. (B) Foto do ovo de *E. fetida*.
Fonte: site ZOONEWS (2009)

Na cultura em laboratório, as minhocas são separadas por idade (jovens - até 150 mg, sub-adultas - entre 150 e 300 mg e adultas - acima de 300 mg) e mantidas em bandejas plásticas, com solo de cultura (solo rico em matéria orgânica e umidade). As culturas são mantidas com temperatura variando de $22 \pm 2^\circ\text{C}$, pH do solo próximo de 7, umidade entre 60-70 % e iluminação constante (RAMOS *et al*, 2006).

A quantidade de minhocas por bandeja varia de acordo com o volume desta e com o peso das minhocas, no máximo 300 g, ou seja, 0,03 g de minhocas/cm³. As minhocas são depositadas na superfície da cama do substrato e deixadas para escavar.

São realizados quatro tipos de testes utilizando minhocas da espécie *Eisenia fetida* na avaliação da contaminação de solos: teste de fuga (ou de comportamento), teste de ecotoxicidade aguda, teste de ecotoxicidade aguda com papel de contato e teste crônico. Ainda, para controle da qualidade da cultura de minhocas em laboratório é realizado o teste de sensibilidade. Sendo assim, os testes de toxicidade podem ser realizados para avaliar o potencial de bioacumulação do contaminante fornecendo informações de toxicidade e biodisponibilidade, podendo ser uma importante ferramenta no auxílio do monitoramento de áreas degradadas.

No Brasil existem poucas normas relacionadas aos ensaios toxicológicos aplicando organismos terrestres. No Brasil, a NBR 15537 trata da aplicação de ensaios com minhocas para uma avaliação da ecotoxicidade aguda. O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) também faz referência ao uso da espécie *Eisenia fetida* para a avaliação toxicológica dos agrotóxicos em seu Anexo IV, da Portaria do IBAMA nº 84/96, “Parte D – Toxicidade para organismos não-alvo”, porém, os métodos descritos no Manual do IBAMA estão desatualizados. Dessa forma, normalmente são utilizados métodos internacionalmente reconhecidos, como os da ISO (*International Organization for Standardization*), OECD (*Organization for Economic Co-operation and Development*) e EPA (*Environmental Protection Agency – USA*) (SISINNO *et al.*, 2006).

Porém, as normas estrangeiras são desenvolvidas para avaliar a toxicidade de amostras adicionadas em solos artificiais, a fim de que vários interferentes sejam eliminados. O grande desafio na adaptação desses métodos para a complementação da avaliação de áreas contaminadas é a substituição do substrato artificial pelas amostras de solos trazidas dessas áreas, a avaliação dos possíveis interferentes nos resultados, bem como a escolha dos organismos-teste para amostras com determinadas características.

3.4.4 Sementes de rúcula (*Eruca sativa* L.)

Além da sua importância vital, as plantas já vêm sendo utilizadas há anos na biorremediação de sedimentos, água e solos contaminados. Esta técnica de biorremediação para solos contaminados tem sido desenvolvida e tornou-se uma área intensa de estudos científicos (ADAM, 2002).

O uso de espécies vegetais para avaliação toxicológica ainda não é bem aplicado no Brasil. Contudo, para o monitoramento da bioatividade de extratos, frações e compostos isolados potencialmente tóxicos, esse tipo de bioensaio têm sido cada vez mais utilizados (NOLDIN *et al.*, 2003).

As sementes são excelentes ferramentas para realização de bioensaios, pois, quando são reidratadas elas entram em processo de germinação, onde sofrem rápidas mudanças fisiológicas e tornam-se altamente sensíveis ao estresse ambiental (SOUZA *et al.*, 2005).

Muitas substâncias químicas presentes em efluentes ou resíduos sólidos podem levar ao surgimento de um efeito tóxico sobre a capacidade de germinação das sementes e crescimentos das plantas.

Muitas espécies de plantas, incluindo repolho, cebola, tomate, pepino, cevada, rúcula e alface têm sido utilizadas nos testes de germinação e crescimento das raízes. Esta última é recomendada por órgãos americanos e europeus como USEPA (United States Environmental Protection Agency), ASTM (American Society for Testing and Materials) e OECD (Organization for Economic Cooperation and Development).

O teste de germinação baseia-se na exposição direta das sementes à substância – teste, usando uma solução ou um suporte embebido na solução, como por exemplo, papel de filtro ou papel mata-borrão.

Para a avaliação do teste de germinação e crescimento das raízes pode-se analisar tanto a taxa de germinação quanto o alongamento das raízes, simultaneamente. Duas grandes vantagens desse teste são o seu baixo custo e simplicidade, pois não requer equipamentos sofisticados.

Além disso, há a vantagem de se necessitar de pouca quantidade de amostra. Por estes motivos, muitos autores têm optado em utilizar esse teste para avaliar a influência da contaminação na germinação de sementes.

O teste de germinação tem uma duração variável para as diferentes espécies vegetais. O texto das Regras para Análise de Sementes (RAS) do Ministério da Agricultura, baseadas em resultados experimentais, fixam essa duração indicando o número de dias em que as sementes utilizadas no teste devem ter a sua primeira avaliação, e o número de dias admissível para a conclusão dos ensaios (ANTONIOLLI *et al*, 1986).

A temperatura influencia de forma acentuada a germinação das sementes e emergência de plântulas de espécies cultivadas. As faixas de temperatura são descritas pelas Regras para Análise de Sementes – RAS (BRASIL, 1992), que prescreve as temperaturas de 20 e 20-30°C para serem utilizadas no teste de germinação; entretanto, para a rúcula prescreve-se somente a temperatura de 20°C.

A rúcula (*Eruca sativa*), também conhecida como mostarda-persa, é uma verdura pertencente a família Brassicaceae (Figura 9). Tem origem no sul da Europa e parte ocidental da Ásia, a espécie é adaptada a clima fresco, nem quente e nem frio.

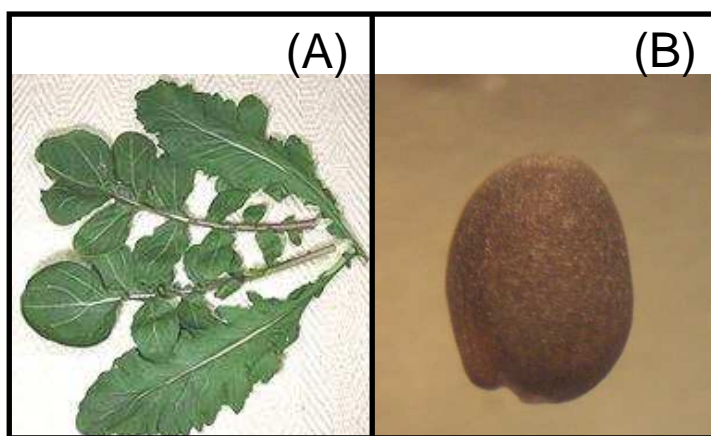


Figura 9 - Foto da espécie de rúcula tradicional. (A) Planta adulta de rúcula. (B) Semente de rúcula.
Fonte: a autora (2008).

Trabalhos científicos envolvendo sementes de rúcula são escassos tanto no Brasil como no exterior.

3.4.5 Teste de Toxicidade Aguda

Os testes de toxicidade aguda são ensaios laboratoriais, realizados sob condições específicas e controladas e que visam avaliar a toxicidade de um agente nocivo, podendo este ser substâncias, efluentes industriais, resíduos e amostras de água ou sedimentos, sobre uma espécie-teste. Seus resultados possibilitam determinar uma concentração confiável da substância química ou efluente para serem lançados ao meio ambiente.

O princípio desses ensaios é a exposição dos organismos-testes à diferentes concentrações da amostra afim de observar e quantificar os efeitos tóxicos produzidos sobre eles. Os testes de toxicidade não permitem obter uma resposta absoluta sobre o risco que uma determinada amostra apresenta para a população humana, pois os resultados de toxicidade obtidos para os organismos em laboratório não podem ser extrapolados para os seres humanos. Fica difícil até mesmo correlacionar os resultados de toxicidade entre organismos de diferentes espécies.

Em geral são utilizados seres aquáticos como organismo-teste que sejam representativos de um ambiente em estudo (MATIAS, 1996). Neste tipo de teste, os organismos são expostos à amostra durante um determinado período e, então são avaliados os possíveis efeitos letais e/ou subletais causado ao grupo de indivíduos submetidos a tal procedimento.

O teste de toxicidade aguda, realizado em laboratório consiste na exposição à concentrações conhecidas de um agente tóxico específico ou efluente, da espécie-teste durante um curto período de tempo, geralmente num período de 24 a 96 horas. A vantagem do teste agudo refere-se à obtenção de resultados rápidos e reprodutíveis em curvas de concentração-resposta, facilitando a visualização, identificação e estimativa dos efeitos de substâncias químicas na população em estudo (MATIAS, 1996).

O objetivo deste teste é determinar a concentração do material (substância química ou efluente) que produz um efeito deletério na população exposta durante um curto período de tempo sob condições controladas (RAND, 1995).

Já se sabe que a presença de poluentes e contaminantes em baixas concentrações às vezes não detectadas pelas análises físico-químicas podem ser evidenciadas através de testes de toxicidade (MACHADO, 2005).

Segundo Brentano *et al* (2005), os parâmetros avaliados nesta forma de teste são a mortalidade, no caso de peixes e minhocas; imobilidade, no caso de invertebrados; e crescimento, no caso de algas.

Os resultados da avaliação dos efeitos agudos de substâncias ou efluentes potencialmente tóxicos através de teste de toxicidade aguda são fornecidos geralmente através do cálculo da Concentração Letal (CL50) ou a Concentração Efetiva (CE50) a 50% da população em teste (BRENTANO *et al*, 2005). Estes resultados expressam somente uma estimativa da toxicidade aguda global da substância, não podendo ser extrapolados para resultados de toxicidade sub-aguda e crônica. Assim, os testes de toxicidade aguda oferecem informações que são suficientes para iniciar ações de controle.

Na toxicologia o organismo-teste escolhido é aquele que representa os diferentes níveis tróficos e melhor evidencia o tipo de efeito toxicológico, ou seja, com melhor sensibilidade, sem necessariamente apresentar mais semelhanças com o homem. Na ecotoxicologia são comumente utilizados organismos-teste como peixes, microcrustáceos e algas para ecotoxicologia aquática e sementes de hortaliças e anelídeos para ecotoxicologia terrestre (BRENTANO *et al*, 2006; FLOHR, 2007; CHANDRA *et al.*, 2005).

Os exemplares de *D. magna*, que apresentam um ciclo de vida médio de quarenta dias, são os organismos mais indicados para bioensaios rápidos, devido à sensibilidade que possuem a uma grande diversidade de poluentes. Como padronização para o teste agudo, o tempo de exposição se estender, no máximo, até 48 horas.

3.4.6 Teste de Toxicidade Crônica

Já os testes crônicos permitem avaliar os possíveis efeitos adversos de uma amostra sob condições de longo tempo de exposição a concentrações subletais (RAND, 1995). O teste

crônico expõe o organismo-teste ao agente potencialmente tóxico durante todo seu ciclo de vida, incluindo estágios sensíveis como juventude, crescimento, maturidade sexual e reprodução. Avaliam-se efeitos como desenvolvimento e reprodução. O resultado é expresso em Concentração de Efeito Não Observado - CENO, sendo esta a mais alta concentração, de uma série, do agente testado que não provoca efeito quando comparado com o controle; e em Concentração de Efeito Observado - CEO, a mais baixa concentração, de uma série, que causa efeito significativo sobre a população quando comparada ao controle.

O teste crônico é importante e complementar ao teste agudo, pois a ausência de efeito agudo não caracteriza ausência de efeito sobre a biota. Segundo Terra e Feiden (2003) a expressão de muitos agressores ambientais somente torna-se visível quando estão presentes em altas doses. Entretanto, quando eles existem em porções menores seus efeitos na bagagem genética dos indivíduos interferem nas suas funções fisiológicas, alteram a frequência reprodutiva e/ou a qualidade e quantidade de organismos gerados.

Nesta situação, a execução de um teste crônico permitiria revelar um efeito mais sensível sobre os organismos, em longo prazo, devido a agentes tóxicos presentes em pequenas doses e seria apropriado quando os testes agudos não revelam toxicidade. A ação lenta de poluentes sobre a biocenose é um aspecto importante a ser considerado e que hoje já se encontra contemplado em legislação nacional (FUZINATTO, 2008).

Atualmente, no Brasil, os testes crônicos são contemplados na Resolução CONAMA nº 357 (Brasil, 2005) e exigidos para realização do enquadramento dos corpos hídricos. Para fins de interpretação da resolução, efeito tóxico crônico é definido como efeito deletério aos organismos vivos causado por agentes físicos ou químicos que afetam uma ou várias funções biológicas dos organismos, tais como a reprodução, o crescimento e o comportamento, em um período de exposição que pode abranger a totalidade de seu ciclo de vida ou parte dele.

3.5 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

3.5.1 Resíduos Industriais

A Constituição Federal Brasileira de 1988 no artigo 23, inciso VI estabelece que seja de competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios protegerem o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas.

O artigo 24, inciso VI, afirma que compete à União, aos Estados e ao Distrito Federal legislar concorrentemente sobre florestas, caça, pesca, fauna, conservação da natureza, defesa do solo e dos recursos naturais, proteção do meio ambiente e controle da poluição. Ainda este mesmo artigo, inciso VIII, refere-se à responsabilidade por dano ao meio ambiente.

Em seu artigo 225, que dispõe sobre a proteção ao meio ambiente, diz que:

“todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”.

A Lei 6.938/81, que estabelece a Política Nacional de Meio Ambiente; têm no seu artigo 4º, vii, os princípios do *Poluidor-Pagador*, que pode ser definido como obrigação do poluidor de recuperar e indenizar danos por ele causado ao meio-ambiente.

Outras Leis, Resoluções e Normas referentes a resíduos são citadas abaixo:

- A Resolução CONAMA 006/88 que dispõe sobre licenciamento de atividades industriais e geração de resíduos. [CONAMA, 1988];
- A Resolução CONAMA 005/93 que dispõe sobre a destinação final de resíduos sólidos. [CONAMA, 1988];
- Decreto nº 875/93 – Promulga o texto da Convenção de Basiléia sobre o controle de movimentos transfronteiriços de resíduos perigosos e seu depósito.

- Portaria 53/97 do Ministério do Interior - Proíbe a disposição final de resíduos em lixões;
- Lei Federal nº 9605/98 regulamentada pelo Decreto nº 3179/99, denominada Lei de Crimes Ambientais - Dispõe sobre a especificação das sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente.

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas dispõe da norma NBR 10.004 de 2004 para a classificação dos resíduos sólidos a partir de sua origem e sua periculosidade em relação aos padrões de qualidade do meio ambiente e a saúde pública.

A nível estadual, a Lei estadual nº 13.557/2005 institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos, define diretrizes e normas de prevenção da poluição, proteção e recuperação da qualidade do meio ambiente e da saúde pública, assegurando o uso adequado dos recursos ambientais no Estado de Santa Catarina. O artigo 5º desta Lei trata dos princípios da Política Estadual de Resíduos Sólidos:

- I - a integração das ações nas áreas de saneamento, meio ambiente, saúde pública, recursos hídricos e ação social;*
- II - a promoção de padrões sustentáveis de produção e consumo;*
- III - a redução, ao mínimo, dos resíduos sólidos, por meio do incentivo às práticas ambientalmente adequadas, de reutilização, reciclagem e recuperação;*

O Decreto estadual nº 14.250 de 5 de junho de 1981, regulamenta a Lei nº 5.793/1980 referentes à Proteção e Melhoria da Qualidade Ambiental.

Seção II

Da proteção do solo e do controle dos resíduos sólidos:

Art. 20 - É proibido depositar, dispor, descarregar, enterrar, infiltrar ou acumular no solo resíduos, em qualquer estado da matéria, desde que causem degradação da qualidade ambiental, na forma estabelecida no artigo 3º.

Art. 21 - O solo somente poderá ser utilizado para destino final de resíduos de qualquer natureza, desde que sua disposição seja feita de forma adequada, estabelecida em projetos específicos, ficando vedada a simples descarga ou depósito, seja em propriedade pública ou particular.

Parágrafo 1º - Quando a disposição final, mencionada neste artigo, exigir a execução de aterros sanitários, deverão ser tomadas medidas adequadas para proteção das águas superficiais e subterrâneas, obedecendo-se normas a serem expedidas.

Parágrafo 2º - O lixo "in natura" não ser utilizado na agricultura ou para a alimentação de animais.

Art. 22 - Os resíduos de qualquer natureza, portadores de patogênicos ou de alta toxicidade, bem como inflamáveis, explosivos, radioativos e outros prejudiciais, deverão sofrer, antes de sua disposição final no solo, tratamento e/ou acondicionamento adequados fixados em projetos específicos, que atendam os requisitos de proteção à saúde pública e ao meio ambiente.

Art. 23 - Somente será tolerada a acumulação temporária de resíduos de qualquer natureza, desde que não ofereça risco à saúde pública e ao meio ambiente.

Art. 24 - O tratamento, quando for o caso, o transporte e a disposição de resíduos de qualquer natureza de estabelecimentos industriais, comerciais e de prestação de serviços quando não forem de responsabilidade do Município, deverão ser feitos pela própria empresa e as suas custas.

3.5.2 Legislação sobre Toxicidade

No Brasil o número de leis referentes à toxicidade é limitado. A mais importante referência legal para o controle de toxicidade no país é a Lei Federal de Recursos Hídricos nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997). Porém, ela refere-se apenas ao lançamento de efluentes líquidos em corpos receptores.

Esta Lei faz referência sobre toxicidade dentro de seus instrumentos, “*Na fixação dos valores a serem cobrados pelo uso dos recursos hídricos devem ser observados, dentre outros:*

I - nas derivações, captações e extrações de água, o volume retirado e seu regime de variação;

II - nos lançamentos de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, o volume lançado e seu regime de variação e as características físico-químicas, biológicas e de toxicidade do afluente”.

Em 17 de março de 2005, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) publicou a

Resolução nº 357 que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e o padrão de lançamento de efluentes e dá outras providências.

Para fins de interpretação a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) define no Artigo 2 os seguintes termos:

- efeito tóxico agudo: efeito deletério aos organismos vivos causado por agentes físicos ou químicos, usualmente letalidade ou alguma outra manifestação que a antecede, em um curto período de exposição;
- efeito tóxico crônico: efeito deletério aos organismos vivos causado por agentes físicos ou químicos que afetam uma ou varias funções biológicas dos organismos, tais como a reprodução, o crescimento e o comportamento, em um período de exposição que pode abranger a totalidade de seu ciclo de vida ou parte dele;
- ensaios ecotoxicológicos: ensaios realizados para determinar o efeito deletério de agentes físicos ou químicos a diversos organismos aquáticos;
- ensaios toxicológicos: ensaios realizados para determinar o efeito deletério de agentes físicos ou químicos a diversos organismos visando avaliar o potencial de risco a saúde humana;

Nesta Resolução os seguintes artigos descrevem sobre toxicidade:

Art. 7º, parágrafo único: “Eventuais interações entre substâncias, especificadas ou não nesta Resolução, não poderão conferir às águas características capazes de causar efeitos letais ou alteração de comportamento, reprodução ou fisiologia da vida”. Esta Resolução aborda o tema da toxicidade quando, em seus artigos, estabelece limites das substâncias a serem lançadas nos corpos receptores, restringindo o surgimento de efeitos tóxicos sobre a comunidade aquática decorrentes dos lançamentos dos efluentes.

Art. 8º, em seu § 1º “Também deverão ser monitorados os parâmetros para os quais haja suspeita da sua presença ou não conformidade”. No § 3º “A qualidade dos ambientes aquáticos poderá ser avaliada por indicadores

biológicos, quando apropriado, utilizando-se organismos e/ou comunidades aquáticas”. E no § 4º “As possíveis interações entre as substâncias e a presença de contaminantes não listados nesta Resolução, passíveis de causar danos aos seres vivos, deverão ser investigadas utilizando-se ensaios ecotoxicológicos, toxicológicos, ou outros métodos cientificamente reconhecidos”.

Art. 34º em seus parágrafos 1º e 2º dispõe:

§ 1º O efluente não deverá causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, de acordo com os critérios de toxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

§ 2º Os critérios de toxicidade previstos no § 1º devem se basear em resultados de ensaios ecotoxicológicos padronizados, utilizando organismos aquáticos, e realizados no efluente.

No Estado de Santa Catarina, a Portaria da FATMA, nº 017 do ano de 2002 (FATMA, 2002) estabelece os limites máximos de toxicidade aguda para o micro crustáceo *D. magna* e para a bactéria luminescente *Vibrio fischeri* para efluentes de diferentes origens.

O Art. 1º descreve que “As substâncias presentes nos efluentes não poderão causar ou possuir potencial causador de efeitos tóxicos, alterações no comportamento e fisiologia dos organismos aquáticos no corpo receptor”, que salienta a importância da análise da toxicidade.

O Art. 2º diz que “A toxicidade aguda do efluente será determinada em laboratório, mediante a elaboração de testes ecotoxicológicos padronizados, cujos resultados deverão ser expressos em Fator de Diluição (FD)”, sendo que, de acordo com o § 2º, o Fator de Diluição (FD) representa a primeira de uma série de diluições de uma amostra na qual não mais se observa efeitos tóxicos agudos aos organismos-teste.

O § 5º do Art. 2º estabelece que “Somente será permitido o lançamento do efluente, no corpo receptor, proveniente das atividades consideradas potencialmente causadoras de degradação ambiental inseridas na Portaria Interna 01/92 e 01/00 - FATMA, cuja porcentagem (PER) seja menor ou igual à toxicidade causada pelo mesmo, expressa em percentual do Fator de Diluição (FD%) dividido por dois”.

A Portaria estabelece os Limites Máximos de Toxicidade Aguda para os microcrustáceos - *Daphnia magna* (Straus, 1820) e para as bactérias bioluminescentes - *Vibrio fisheri*, dos efluentes de diferentes categorias, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Portaria 017/02 -Limites Máximos de Toxicidade de Efluentes de Diferentes Categorias.

Origem dos Efluentes		Limites Máximos de Toxicidade Aguda para <i>Daphnia magna</i>	Limites Máximos de Toxicidade Aguda para <i>Vibrio fisheri</i>
Origem dos efluentes Categoria da atividade	Subcategoria da atividade		
		FDd	FDbl
Metal mecânica	Siderurgia	4	6
	Metalurgia	4	6
	Galvanoplastia	16	8
Alimentícia	Frigoríficos, Abatedouros, Laticínios, Cerealistas, Bebidas, Fecularias, Alimentos	2	4
Esgotos domésticos e/ou hospitalares		1	4
Resíduos urbanos	Efluentes de Aterros Sanitários	8	16
Papel e Celulose		2	4
Couros, peles e produtos similares		4	6
Química	Agroquímica, Petroquímica, Produtos químicos não especificados ou não classificados	2	4
Têxtil	Beneficiamento de fibras naturais e sintéticas, confecção e tinturaria	2	2
Farmacêutica		2	4

FONTE: FATMA (2002)

NOTA: FDd - Fator de Diluição para *Daphnia magna*.

FDbl - Fator de Diluição para *Vibrio fisheri*.

FD = 1 – amostra bruta não tóxica.

4 METODOLOGIA

4.1 ÁREA DE ESTUDO

Na cidade de Tijucas, no Vale do Itajaí, está localizada uma das maiores indústrias de revestimentos cerâmicos do País, a Portobello S.A (Figura 10).



Figura 10 - Localização e vista panorâmica da Fábrica de revestimentos cerâmicos Portobello S.A.
Fonte: Portobello S/A (2007).

4.2 LOCAL DE COLETA

O resíduo utilizado neste estudo foi coletado da Estação de Tratamento de Efluentes da etapa de Polimento de pisos de porcelanato, visto que somente neste processo o resíduo gerado não é reaproveitado (Figura 11).

As amostras foram coletas no ponto de descarte do lodo, na saída do filtro- prensa, apresentando um aspecto de massa cerâmica, por isso o resíduo foi chamado de “torta de lodo” e no depósito de lodo no parque fabril, chamado de “lodo seco”.

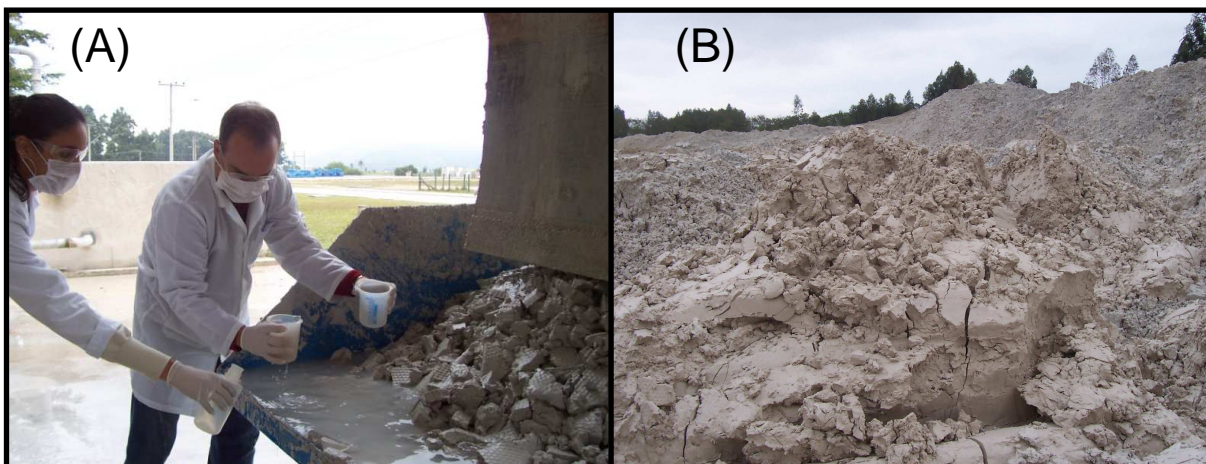


Figura 11 - Coleta do resíduo. (A) Pesquisadores do Labtox coletando amostra lodo fresco na saída do filtro-prensa. (B) Resíduo armazenado no pátio fabril.

Fonte: a autora (2007).

A amostragem do resíduo foi realizada em dois períodos, no dia 07 de agosto de 2007 (1ª coleta) e 23 de janeiro de 2008 (2ª coleta). A amostragem foi realizada de forma composta onde as alíquotas foram coletadas de hora em hora durante 4 horas consecutivas. Após, foram misturadas para obtenção uma amostra homogenia. A metade do volume coletado de resíduo do lodo fresco na 1ª coleta foi encaminhado pela Portobello para a Olaria Tupi para a fabricação dos corpos de prova (tijolos) com diferentes concentrações do resíduo (1%, 3% e 5%). A Figura 12 mostra o fluxograma da coleta das amostras de “torta de lodo” e do lodo seco no parque fabril.

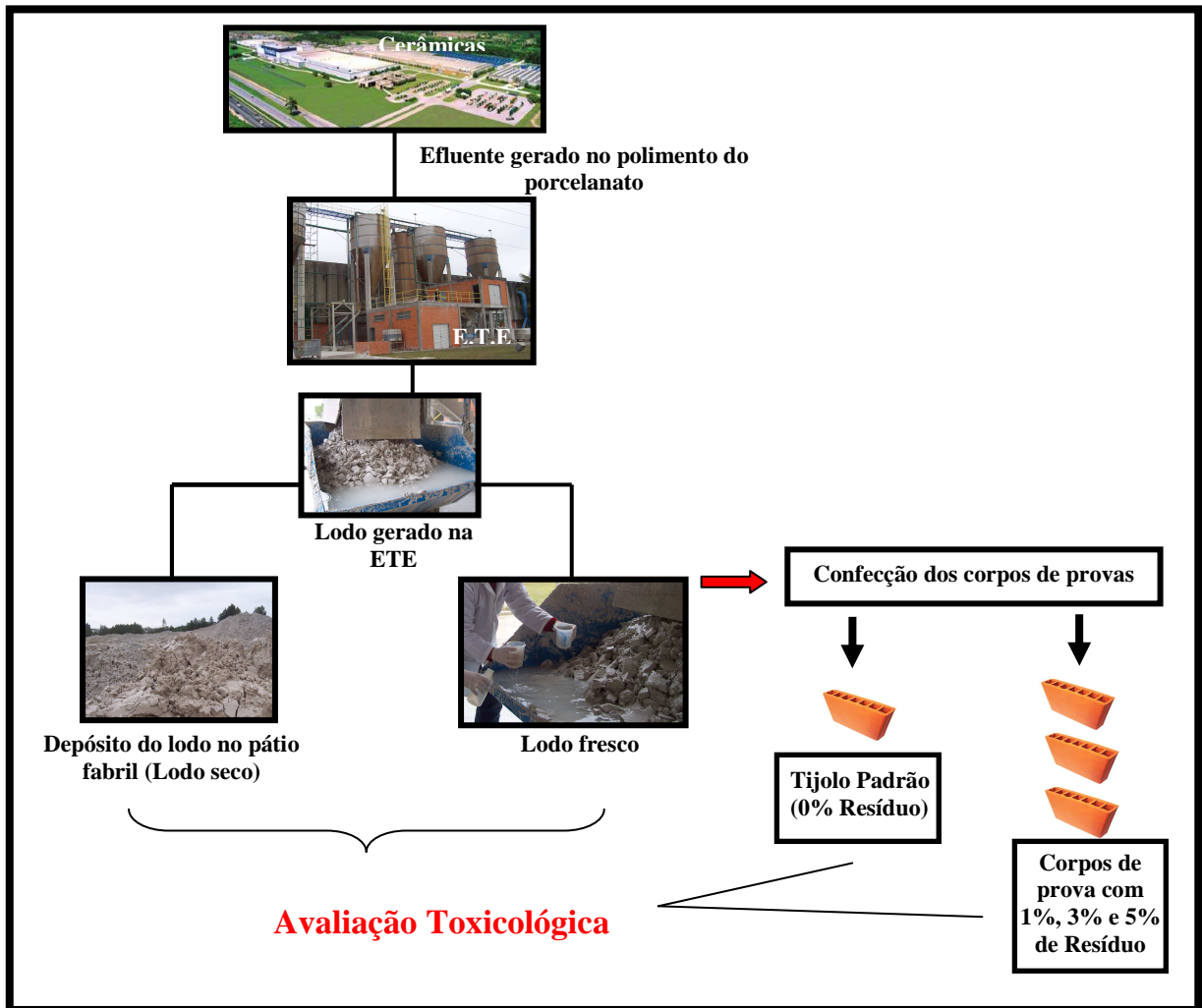


Figura 12 - Fluxograma de coleta de amostras.
Fonte: a autora (2007).

4.3 PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA COM PERCENTUAL DE RESÍDUO

Os corpos de prova (tijolos), utilizados neste estudo, foram fabricados no Laboratório da Olaria Tupy, localizada na cidade de Tijucas/SC. Na Figura 13 está ilustrada os corpos de prova que foram utilizados neste estudo.

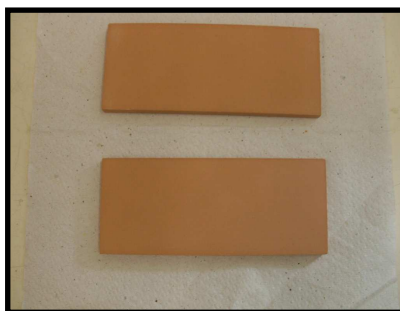


Figura 13 - Ilustração dos Corpos de prova utilizados nos ensaios de lixiviação.
Fonte: a autora (2007).

Os tijolos foram confeccionados adicionando-se diferentes percentuais do lodo fresco coletado (torta de lodo) à uma massa cerâmica convencional. Os percentuais de lodo adotados para este estudo são 1, 3 e 5%. A Tabela 5 mostra a composição dos corpos de prova.

Tabela 5 - Corpos de prova para teste de lixiviação.

Amostra	Resíduo	Argila
Padrão	0%	100%
T1	1%	99%
T2	3%	97%
T3	5%	95%

4.4 TESTE DE LIXIVIAÇÃO

4.4.1 Teste de Lixiviação com amostras de lodo

Para a execução dos testes ecotoxicológicos, que necessitam de uma fração solúvel da amostra a ser testada, o resíduo foi lixiviado de acordo com o descrito na NBR 10.005 - Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos (ABNT, 2004c), com uma pequena adaptação pois não se utilizou ácido acético, visando a não interferência nos testes de toxicidade. Para a lixiviação da amostra, o resíduo sofreu um processo de secagem, sendo assim, pode-se considerar que o resíduo continha um teor de sólidos igual a 100%. Outra observação importante para a escolha do procedimento de lixiviação é a não existência de compostos voláteis na massa do resíduo. Deste modo, utilizou-se o primeiro procedimento da

Norma – “5.2 Lixiviação para resíduos contendo teor de sólidos igual a 100%”, e em seguida - “5.2.1 Lixiviação de não voláteis”.

O teste de lixiviação consistiu na pesagem de 100g da amostra (torta de lodo) em balança de precisão analítica. Em um frasco de vidro com tampa rosqueável e capacidade para 2 litros, foi colocada a amostra pesada e adicionados 2000mL de água destilada (Figura 14). Esta mistura permaneceu sob agitação, em um agitador rotatório de frascos, por 18h. Após este período a amostra ficou em repouso por 2 horas para decantação. Para os testes de toxicidade foi utilizado o sobrenadante.



Figura 14 - Lixiviação das amostras de lodo.

Fonte: a autora (2008).

4.4.2 Teste de Lixiviação com amostras dos corpos de prova

Para o teste de lixiviação dos corpos de prova, foi realizada a pesagem das amostras (tijolos) em balança de precisão analítica. As amostras pesadas, 200g de cada amostra das diferentes alíquotas (1%, 3% e 5%), foram alocadas em recipientes com 400ml de água destilada. Esta mistura permaneceu sob agitação, em mesa agitadora linear, por 24h (Figura 15). Essa

adaptação foi necessária para que a água destilada passasse por toda a superfície dos tijolos. O lixiviado formado foi coletado e sua toxicidade avaliada.

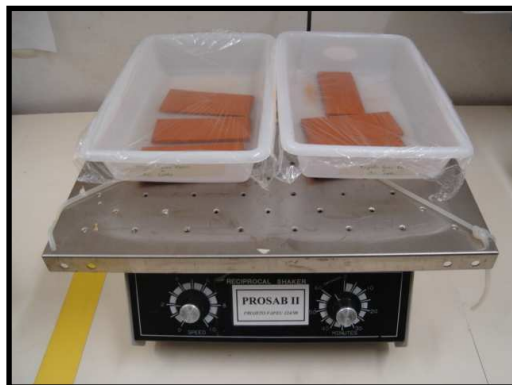


Figura 15 - Lixiviação dos corpos de prova.
Fonte: a autora (2007).

4.4.3 Teste de Lixiviação natural com amostras dos corpos de prova

O teste de lixiviação natural consistiu na exposição dos corpos de prova (tijolos) as intempéries durante duas semanas. Essa exposição foi possível através de uma estrutura preparada especialmente para este teste, onde a água da chuva era direcionada para o corpo de prova, lixiviando toda a superfície do mesmo. Após o período de chuva, o lixiviado formado foi coletado e sua toxicidade avaliada.

4.5 ESTUDO DO EFEITO TÓXICO

4.5.1 Teste de Toxicidade Aguda com *Daphnia magna*

A metodologia para realização dos testes de toxicidade aguda seguiu a NBR 12.713 (2003). As amostras coletadas foram avaliadas baseando-se na exposição de neonatos de *Daphnia magna* de 2 a 26 horas de idade, em diferentes diluições da amostra por um período de 48 horas de exposição. Foram preparadas quatro diluições, sendo estas, 12,5%, 25%, 50% e 100%, preparadas com precisão volumétrica, em progressão geométrica de razão 2.

Para o grupo controle, foi utilizado como diluente a água de diluição, conhecido como meio ISO, descrito na norma ISO 6341 (ISO, 1996). Este meio foi preparado conforme norma e

permaneceu aerando por 24 horas. O grupo controle tem a função de validar o teste agudo, assim, não é permitido valores de organismos imóveis neste grupo acima de 10%.

Para cada diluição foram utilizados 2 béqueres de 50mL, colocando-se 25 mL de solução-teste em cada e disposto 10 organismos por béquer, totalizando 20 organismos por diluição. Os recipientes foram acondicionados em um recipiente de plástico e com tampa e levados para a incubadora de testes, com controle de temperatura entre 18°C e 22°C, sem alimentação e com fotoperíodo de 16 horas luz. A metodologia do teste de toxicidade aguda esta ilustrada na Figura 16.

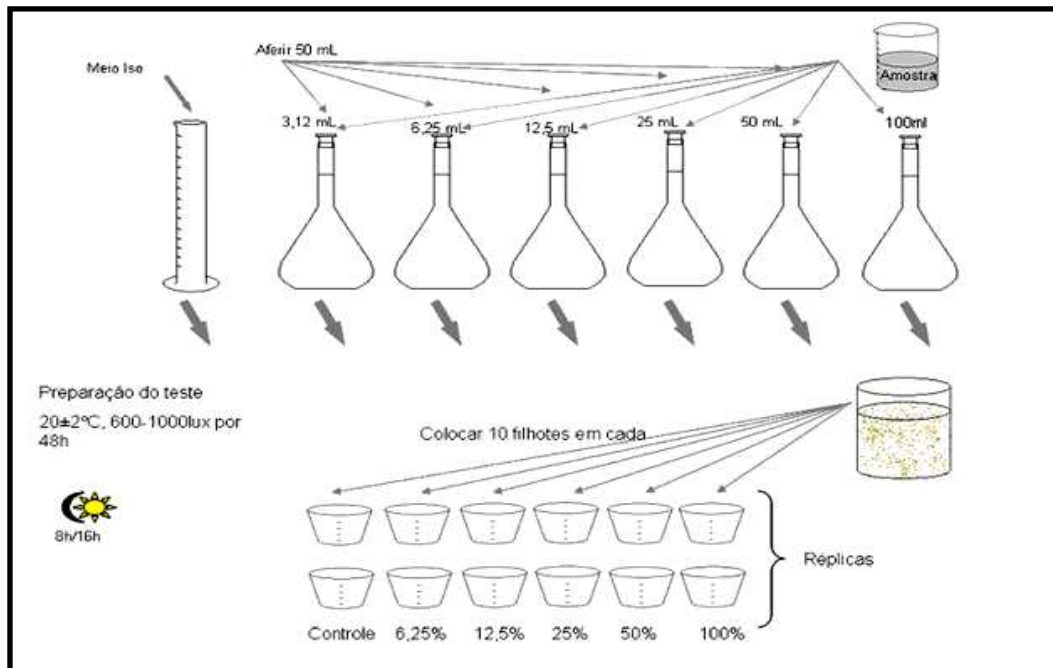


Figura 16 - Esquema representativo do testes de toxicidade aguda.

Fonte: BRENTANO (2006).

Tanto o preparo das diluições, como a distribuição dos organismos-teste nos béqueres, foi realizada sempre da menor para a maior concentração do agente tóxico, iniciando pelo controle.

A leitura foi realizada após o período de exposição (48 horas) observando-se o número de indivíduos imóveis por concentração e a partir destes valores, calculou-se a porcentagem de imobilidade por concentração. Essa porcentagem é expresso em Concentração Efetiva Inicial

Mediana - CE(I)50 48h, que corresponde à concentração da amostra no início do ensaio, que causa efeito agudo (imobilidade) a 50% dos organismos expostos em 48 horas e Fator de Diluição – FD – que representa a primeira de uma série de diluições de uma amostra no qual não mais se observa efeitos tóxicos agudos aos organismos-teste (ABNT, 2003a; BRENTANO *et al*, 2005; BARROS & DAVINO, 2003)

A CE(I)50 48h foi calculada utilizando-se os métodos estatísticos Probit Method (Weber, 1993) para dados paramétricos e Trimmed Sperman-Karber Method (Hamilton *et al.*, 1977) para dados não paramétricos.

4.5.2 Teste de Toxicidade Crônica com *Daphnia magna*

Nos estudos de toxicidade crônica verifica-se o comportamento de *Daphnia magna* por um período de 21 dias, para determinar os efeitos causados pelo agente tóxico sobre o organismo. Este tipo de teste permite avaliar os efeitos subletais, estimando as concentrações do agente tóxico.

A metodologia deste teste baseia-se na exposição de neonatos (filhotes com idade de 2 até 26 horas) gerados a partir da quarta postura de fêmeas não expostas anteriormente ao agente agressivo. Assim, eles são mantidos no meio contaminado por um período correspondente a uma parcela significativa ao seu ciclo de vida – em torno de 1/3 do ciclo vital, sendo possível observar a longevidade, o crescimento e maturação dentre outras.

Para este estudo foram realizados testes de toxicidade crônica com *D. magna* somente nas amostras dos lixiviados do lodo bruto, ou seja, da “torta de lodo” e dos corpos de prova (tijolos) contendo 0% e 5% de resíduo em sua composição.

Para cada teste foram realizadas quatro diluições por amostra, mais um controle, constituído somente de meio de cultivo - M4. As diluições realizadas para cada teste foram correspondentes as concentrações de 100%, 80%, 64% e 51,2% da amostra de diluição. Essas concentrações representam os fatores de diluição de 1, 1.25, 1.5625 e 1.9531 em relação à

100%. Para a obtenção dessas concentrações foi utilizado um fator de divisão de 1,25. A Figura 17 possibilita a visualização esquemática do teste de toxicidade crônica.

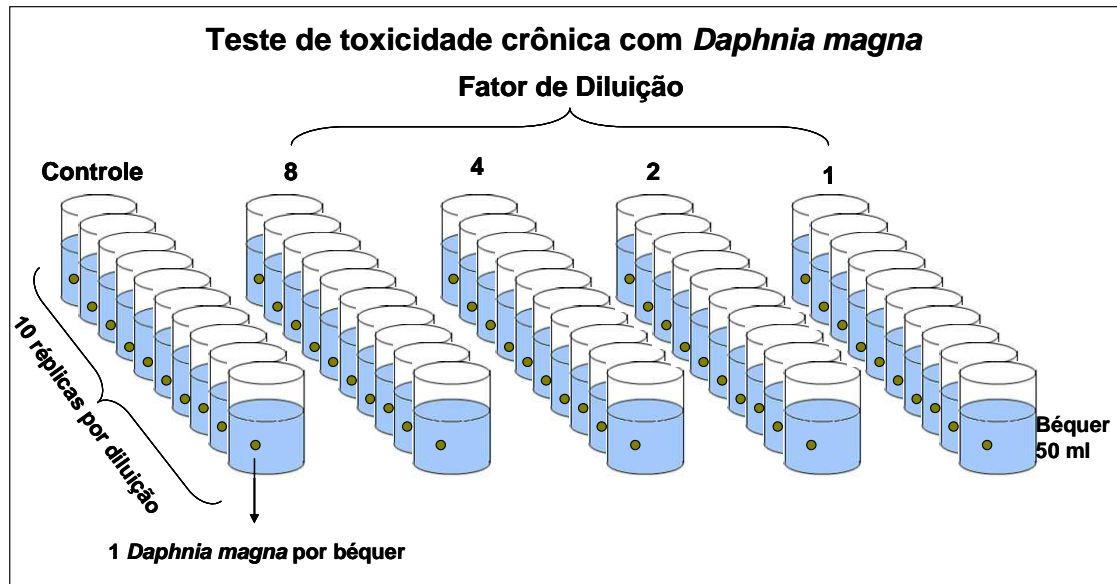


Figura 17 - Esquema do teste de toxicidade crônica com *Daphnia magna*.
Fonte: FUZINATTO (2008).

Na realização do teste crônico, as soluções-teste (diluições) foram preparadas utilizando-se o meio de cultura M4 como diluente, diferentemente dos testes de toxicidade aguda. Cada diluição foi preparada com precisão volumétrica com o auxílio de uma proveta de 250 mL. Assim, as soluções-teste foram preparadas no momento da exposição do organismo, utilizando as devidas proporções de amostra e água reconstituída. Após o preparo, a solução foi então dividida em 10 béqueres de vidro com capacidade de 50 mL cada. Cada béquer recebeu uma alíquota de 25 ml da solução-teste e um indivíduo jovem de *D. magna* e foi coberto com filme de PVC para evitar a evaporação e contaminação do teste com possíveis resíduos suspensos no ar. Portanto, para cada diluição, utilizaram-se 10 réplicas, dispondo individualmente 10 organismos jovens de *Daphnia magna* em cada béquer. A Figura 18 (A) ilustra o ensaio de toxicidade crônica realizado neste estudo e na Figura 18 (B) visualizam-se as réplicas número 1 de todas as concentrações.

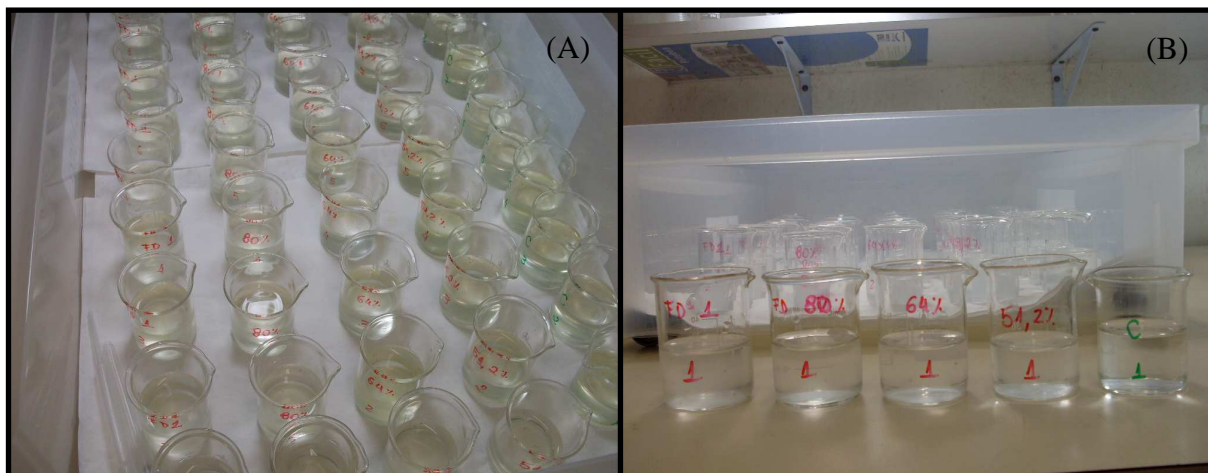


Figura 18 - Foto do teste de toxicidade crônica com *Daphnia magna*.

Fonte: a autora (2008).

Os testes de toxicidade crônica com *D. magna* foram mantidos em condições ambientais controladas, as mesmas do cultivo do organismo, ou seja, temperatura ambiente de ($20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) e luminosidade difusa (fotoperíodo de 16 horas de luz). A alimentação foi fornecida diariamente, sendo fornecido como alimento a alga clorofícea *Scenedesmus subspicatus*, cultivada no Laboratório.

Durante o teste, os organismos foram acompanhados diariamente nas duas primeiras semanas, e após este período, as observações foram feitas três vezes por semana, intercalando os dias: nas segundas, quartas e sextas-feiras, onde foi observada e registrada a sobrevivência e o número de jovens gerados por fêmea. Por se tratar de um teste semi-estático, nos dias de leitura também se realizava a renovação da solução-teste, ou seja, troca do meio. Na manutenção foi realizada a substituição da solução-teste antiga por uma nova sempre preparada antes da exposição, tendo o cuidado de a nova solução estar em uma temperatura similar a anterior ($20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) no momento da transferência dos organismos.

Na realização da troca da solução-teste, as daphnias adultas foram retiradas do béquer acondicionadas temporariamente em um recipiente livre de contaminação contendo M4. Os neonatos foram contados e registrados. As daphnias jovens encontradas mortas ou imóveis não foram contabilizados. Após, os jovens foram descartados juntamente com a solução-teste antiga do béquer. Em seguida, procedeu-se com a higienização do béquer, utilizando um

pedaço de algodão ou gaze para a remoção de impurezas presentes na parede interna do recipiente e lavou-se o mesmo com água destilada.

Após este processo de higienização, o béquer recebeu nova alíquota de 25 mL de solução-teste e então se transferiu a daphnia adulta que estava temporariamente no recipiente contendo M4 para o béquer contendo a nova solução-teste. Essa transferência foi efetuada com o auxílio de uma pipeta de plástico com volume de 5 mL, cortada na extremidade de entrada do líquido, a fim de não causar lesões e o mínimo de stress aos organismos. Também, teve-se o cuidado de liberar o organismo próximo da superfície do líquido para evitar a entrada de ar sob sua carapaça e conseqüente flutuação.

Para o registro das observações realizadas ao longo da execução do teste, foi utilizada um modelo apropriado de tabela, vide modelo no apêndice A desta dissertação.

4.5.2.1 Parâmetros analisados durante o teste crônico

Para a avaliação das amostras testadas, três parâmetros foram analisados na execução do teste: longevidade, crescimento e fecundidade.

A longevidade corresponde ao tempo de vida de um organismo sob um determinado conjunto de condições de desenvolvimento (FONSECA, 1997). Nos testes de toxicidade crônicos realizados, esse parâmetro foi obtido através do acompanhamento da sobrevivência dos organismos-teste até a finalização do teste (21 dias após o início dos mesmos). Este valor foi expresso em número de daphnias adultas sobreviventes após 21 dias.

O crescimento é avaliado através de uma variação de uma dimensão do indivíduo, que pode ser pelo crescimento total ou peso, em função da idade. Neste estudo foi adotado a medição do comprimento dos organismos testados. A medição dos organismos foi realizada ao final dos 21 dias de teste com a utilização de uma lupa de aumento de 40 vezes e uma lâmina com escala milimetrada. Para a medição do comprimento foi considerado o comprimento da cabeça até o final da carapaça, compreendendo o espinho apical (Figura 19). A medida de eventuais machos presentes nos testes não foram contabilizados para geração das médias de crescimento devido ao dimorfismo sexual.

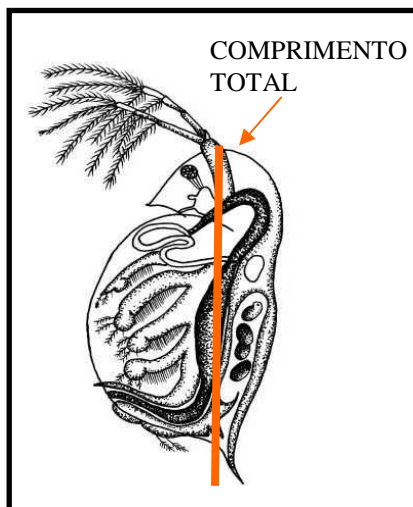


Figura 19 - Medida do comprimento total de *Daphnia magna* realizada após 21 dias de teste.

Fonte: adaptado de BRENTANO (2006).

A fecundidade foi avaliada através da contagem dos filhotes gerados por réplica no período de duração do teste (21 dias). Para a avaliação da fecundidade foi realizado o cálculo da média de filhotes por réplica, sendo considerado o número de posturas por réplica. A média foi obtida através da Equação 1:

$$\text{Média de filhotes por réplica} = \frac{\text{número total de filhotes}}{\text{número de posturas}} \quad (1)$$

Para o cálculo da média da Equação 1, de acordo com Brentano (2006), no caso de haver morte da daphnia adulta da réplica em um período anterior ao 18º dia de teste, os filhotes produzidos por esta são excluídos do somatório. Entretanto, se a daphnia adulta morrer entre o 18º e 21º dias de teste, os filhotes postulado por estas entram no somatório total de filhotes em virtude de que a reprodução após o 18º dia de teste ser bastante flutuante e a ausência de filhotes neste período não ocasionará interferência nos dados levantados. No caso de existir um macho entre os organismos-teste adultos que estão sendo testados, deve-se usá-lo como dado para avaliação da longevidade, mas não poderá entrar nos dados de crescimento e fecundidade (BRENTANO, 2006).

Para o cálculo da média de filhotes por diluição, é realizada a soma das médias de filhotes obtidas por réplica e dividido pelo número de réplicas de acordo com a seguinte Equação 2:

$$\text{Média por diluição} = \frac{\sum \text{médias por réplica}}{\text{Número de réplicas}} \quad (2)$$

4.5.2.2 Determinação dos resultados do teste de toxicidade crônica

Os resultados dos parâmetros da longevidade, fecundidade e crescimento obtidos nas diferentes diluições foram comparados com o resultado obtido no controle. Assim, pode-se determinar a Concentração de Efeito Não-Observado (CENO) e a Concentração de Efeito Observado (CEO).

A CENO, cuja definição segundo a NBR 13373 (2003) é a maior concentração testada da amostra que não causa efeito deletério estatisticamente significativo aos organismos quando comparado ao controle realizado para o teste. A CEO é definida como a menor concentração da amostra que causa efeito significativo nos organismos testados quando comparado ao controle realizado para o teste (ABNT 2003b). Os respectivos valores de CENO e CEO foram expostos em porcentagem.

Para comparar os resultados de cada parâmetro avaliado obtidos em cada diluição, com os resultados obtidos no controle de cada teste, foram utilizadas ferramentas de análise estatística de acordo com a recomendação da EPA 821-R-02-013 (EPA, 2002).

Portanto, foram utilizados o teste de Dunnett, quando o número de réplicas em todo o grupo (controle e diluições) foi similar e o teste Dunnett com ajuste de Bonferroni, quando o número de réplicas não foi o mesmo em todos os tratamentos. Estes testes foram executados utilizando o programa computacional Dunnett Program versão 1.5 (EPA, 2008).

Este Software (Dunnett 1.5) baseia-se no princípio da comparação múltipla, onde realiza a comparação dos resultados obtidos no controle com as diluições. Este programa é capaz de detectar diferença estatisticamente significativa entre uma concentração experimental e o controle inferior a 0.05%, ou seja, determina a diferença significativa existente entre o controle e as diluições testadas com um nível de 95% de significância. A menor concentração em que esta diferença excede este valor é considerada como CEO. Determinada a CEO é

possível determinar a CENO como sendo a concentração inferior a CEO (FUZINATTO, 2008).

4.5.3 Teste de Toxicidade com *Eruca sativa* (rúcula)

O experimento foi realizado no Laboratório de Toxicologia Ambiental - LabTox/ENS/UFSC Utilizaram-se nos ensaios as sementes de *Eruca sativa* L. (rúcula), cultivar Cultivada (Linha Tradicional) de marca comercial adquiridas no comércio em envelopes de 1,20 gramas, com percentagem de germinação de 92% e pureza de 99,9% (Figura 20). Com o objetivo de se garantir uma uniformidade na qualidade das sementes utilizadas no teste, adquiriram-se todas as sementes utilizadas neste projeto num único estabelecimento comercial, sendo este uma rede de supermercados.



Figura 20 - Foto das sementes utilizadas nos ensaios toxicológicos.

Fonte: a autora (2008).

Para a avaliação toxicológica do lodo utilizando sementes de rúcula como organismo-teste, realizou-se o Teste de Germinação (TG), onde através do teste foi possível verificar o efeito sobre o poder germinativo e o crescimento da rúcula, em diferentes concentrações da amostra de água de lixiviação do resíduo da etapa de polimento de porcelanato. Para tal, defini-se germinação de sementes em teste de laboratório como a emergência e desenvolvimento das estruturas essenciais do embrião, demonstrando sua aptidão para produzir uma planta normal sob condições favoráveis de campo (RAS, 2009).

Nos testes de laboratório a porcentagem de germinação de sementes corresponde à proporção do número de sementes que produziu plântulas classificadas como normais, em condições e períodos especificados para cada espécie

Para maior confiabilidade do teste, realizou-se uma seleção das sementes, para verificar as boas condições das mesmas. Essa avaliação foi feita em lupa com aumento de 40 vezes. Com isso, as sementes selecionadas foram usadas no delineamento experimental. A Figura 21 representa a visualização das sementes, onde em (A) está ilustrada uma semente sadia e em (B) pode-se visualizar algumas formas de sementes não saudáveis, ou seja, quebradas, amassadas, com fungos e com deformação.

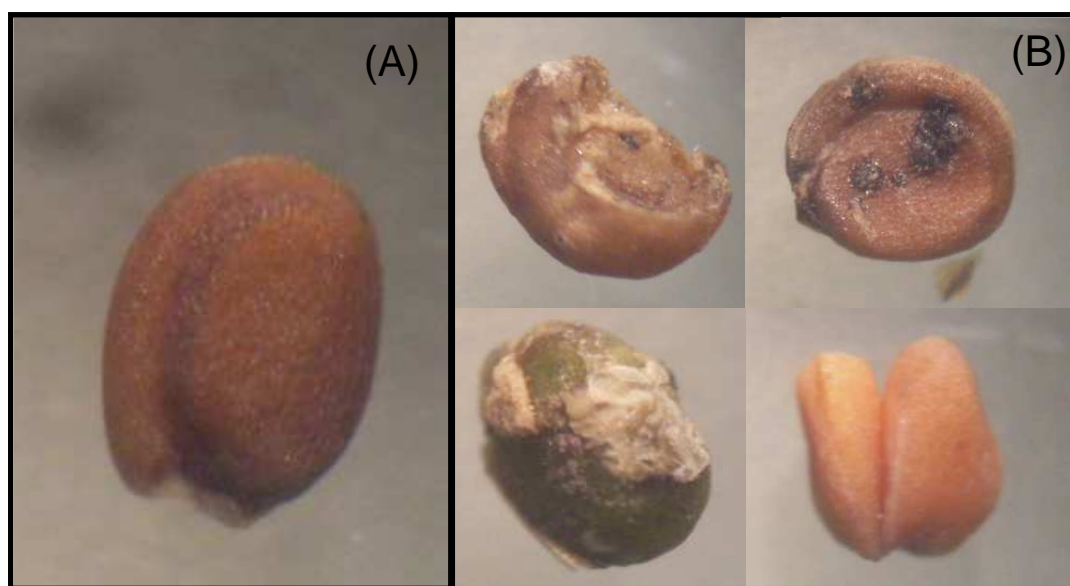


Figura 21 - Sementes de rúcula. (A) semente de boa qualidade. (B) sementes defeituosas.

Fonte: a autora (2008).

O teste foi realizado em duplicata com quatro diluições e cinco réplicas/diluição, totalizando 100 sementes por diluição. As sementes foram acondicionadas em placas de Petri (10 cm de diâmetro), contendo dois discos de papel filtro previamente esterilizados embebidos com a solução-teste na proporção de 3,0 vezes o peso seco do papel usado como substrato. Em cada placa foram dispostas dez sementes de *E. sativa* com espaçamento entre as sementes uniforme e suficiente para minimizar a competição e contaminação entre as sementes, assim, um espaçamento entre as sementes de 1,5-5,0 vezes a sua largura ou diâmetro, é o ideal. Como

controle negativo foi utilizado como solução-teste água destilada. Na Figura 22 pode-se visualizar o teste de germinação com sementes de rúcula.



Figura 22 - Teste de toxicidade com sementes de rúcula.

Fonte: a autora (2008).

Os testes foram mantidos em estufa, com temperatura contínua de 20°C ($\pm 2^{\circ}\text{C}$) e fotoperíodo de 8 horas luz. Ao completar quatro dias de exposição, fez-se a primeira leitura a fim de verificar a percentagem de inibição das sementes e ao sétimo dia a segunda leitura completando o teste de germinação, segundo as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1992). Foram consideradas germinadas as sementes que apresentaram pelo menos 2 mm de protrusão radicular (BRASIL, 1992). No final de sete dias do início do experimento foi avaliado também o comprimento das plântulas normais, comprimento da base da plúmula (folha) ao final raiz primária, como mostra a Figura 23, com auxílio de uma régua graduada em milímetros.



Figura 23 - Medição do comprimento das plântulas de rúcula.

Fonte: a autora (2008).

Os dados obtidos do ensaio foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

4.5.4 Testes de Toxicidade com *Eisenia fetida* (minhoca vermelha californiana)

Os ensaios de toxicidade com *Eisenia fetida* foram realizados de acordo com a norma ABNT NBR 15537 - Ecotoxicologia terrestre — Ecotoxicidade aguda — Método de ensaio com minhocas. Esta norma é baseada na ISO 11268-1 – *Soil quality – Effects of pollutants on earthworms (Eisenia fetida) – Part 1: Determination of acute toxicity using artificial soil substrate* (ISO, 1993) e ISO 11268-2 – *Soil quality – Effects of pollutants on earthworms (Eisenia fetida) – Part 2: Determination of effects on reproduction* (ISO, 1998).

Para a realização dos ensaios com a *E. fetida*, as amostras utilizadas foram o lixiviado do lodo fresco e os lixiviados dos corpos de prova constituídos de 0% e 5%. O solo reconstituído foi preparado artificialmente, segundo a ISO 11268-2, na proporção de 70% de areia lavada e peneirada, 20% de caulim em pó e 10% de Turfa fina. Todos os ensaios foram realizados em duplicata, sendo desenvolvidos em condições controladas de temperatura ambiente (25°C), luminosidade (400 lux a 800 lux) e fotoperíodo (16 h: 8 h).

O lote dos organismos utilizados teve a sensibilidade avaliada por meio de um ensaio com a substância de referência Cloroacetamida, indicada nas normas para o organismo-teste usado. O valor obtido da CL(I)50 do lote utilizado para os ensaios foi de 65 mg/kg. A CL(I)50 da Cloroacetamida deve estar entre 20 mg/kg e 80 mg/kg (ISO, 1993). As minhocas utilizadas foram indivíduos adultos e com clitelo desenvolvido.

4.5.4.1 Teste de Fuga ou Ensaio de Comportamento

O teste tem como principal objetivo expor as minhocas simultaneamente a uma amostra de solo teste e um solo controle, avaliando assim o comportamento de fuga das minhocas. Para tal, são utilizadas amostras de solos contaminados e de solos controles (solo artificial) não contaminados. Quando menos de 20% de indivíduos são encontrados no solo-teste, considera-

se que o solo tem “função de habitat limitada”. O esquema do teste de Fuga com *Eisenia fetida* está representado na Figura 24.

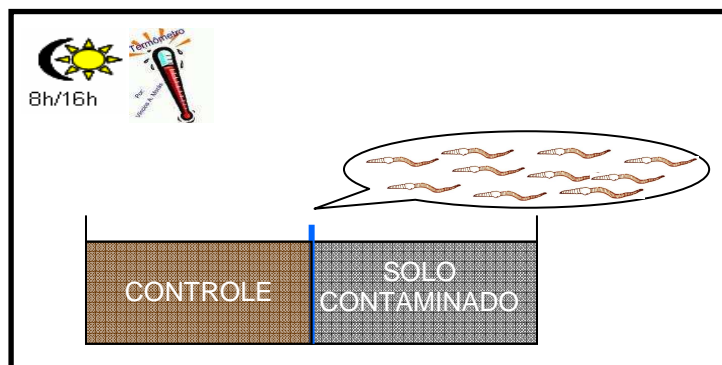


Figura 24 - Esquema do teste de fuga.
Fonte: a autora (2008).

O solo contaminado e o solo-controle foram dispostos em um único recipiente separado em duas seções com o auxílio de uma placa divisora. Depois que as amostras foram arrumadas no recipiente, o divisor foi retirado formando uma linha onde foram colocadas as 10 minhocas adultas (RAMOS *et al*, 2006). O teste foi mantido em incubadora com temperatura controlada de 22 °C e fotoperíodo de 16 horas de luz e 8 horas de escuro. Apesar de as minhocas não necessitarem de luz para sua sobrevivência, optou-se em fornecer condições de luminosidade para induzir, mais rapidamente, as minhocas a escavarem o solo. Após término do ensaio, que teve duração de 48 horas, verificou-se a percentagem de minhocas presentes no solo-teste e no solo-controle.

4.5.4.2 Teste agudo ou Ensaio de letalidade

O método é baseado na contagem da mortalidade de minhocas em solos com diferentes graus de contaminação. Foi utilizada a minhoca vermelha californiana (*Eisenia foetida*) para a realização dos testes. O teste agudo com *Eisenia fetida* foi realizado com base na norma NBR 15537 (2007).

O teste foi realizado em recipientes de vidro, como mostra a Figura 25 e para cada réplica foram utilizados 200 gramas de solo reconstituído, volume de lixiviado necessário para gerar um índice de umidade de 45% e 10 minhocas adultas com clitelo desenvolvido. Todos os

potes foram revestidos com papel pardo, para reduzir a luminosidade; cobertos com uma folha de papel-filtro, para evitar a entrada de outros animais e permitir as trocas gasosas e identificados com a data de montagem do ensaio e porcentagem de contaminação. Os recipientes com o teste foram acondicionadas em local seco e com temperatura ambiente (~25°C).

Cada experimento foi realizado em duplicata e teve duração total de 14 dias, durante os quais, as minhocas foram mantidas sem alimentação. No 7º dia de exposição, os organismos mortos (quando existentes) foram retirados e os sobreviventes mantidos até o 14º dia. Ao final do teste (14º dia), os organismos sobreviventes são retirados dos recipientes e contabilizados. O percentual de mortalidade obtido foi comparado com o controle (SISSINO, 2006). O teste só pode ser aceito se a mortalidade no controle for inferior a 10%.



Figura 25 - Teste de Letalidade.

Fonte: a autora (2008).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE DO EXTRATO LIXIVIADO DO RESÍDUO DE POLIMENTO

O lodo da estação de tratamento do efluente do polimento de porcelanato foi analisado, com a finalidade de classificação do resíduo segundo NBR 10004/2004. A análise foi realizada pela empresa Green Lab[®] em amostra coletada no dia 04/09/2007 e apenas o resultado do extrato lixiviado é apresentado na Tabela 6 e seus resultados foram usados para a discussão com os resultados dos testes de toxicidade realizados neste trabalho.

Tabela 6 - Análise do extrato lixiviado, de acordo com NBR 10005/2004.

ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO				
Parâmetros	Resultado	V.R. – NBR 10.004 Anexo F	Limite de Detecção	Método
Arsênio (mg/L)	<0,001	1,0	0,001	SM 3500 As
Bário (mg/L)	1,35	70,0	0,008	SM 3500 Ba
Cádmio (mg/L)	<0,0001	0,5	0,0001	SM 3500 Cd
Chumbo (mg/L)	<0,001	1,0	0,001	SM 3500 Pb
Cromo (mg/L)	0,013	5,0	0,001	SM 3500 Cr
Fluoreto (mg/L)	0,14	150	0,05	SM 4500 F - D
Mercurio (mg/L)	<0,0005	0,1	0,0005	SM 3112 B
pH	4,97	-	0,01	NBR 14339:1999
Prata (mg/L)	<0,0001	5,0	0,0001	SM 3500 Ag
Selênio (mg/L)	<0,001	1,0	0,001	SM 3500 Se

FONTE: Relatório de análise do Resíduo de polimento realizada pela empresa Green Lab[®].

De acordo com o ensaio de lixiviação, nenhum dos parâmetros analisados apresentou a concentração acima do valor de referência indicado no Anexo F da NBR 10004/2004. Sendo assim, o extrato lixiviado apresentou-se como não-perigoso segundo a mesma norma. A análise completa do resíduo para a sua classificação está no Anexo B. Apesar desses resultados, procedeu-se com o estudo ecotoxicológico para verificar possível sinergismo dos elementos presentes na massa cerâmica.

5.2 TESTE DE TOXICIDADE AGUDA COM *Daphnia magna*

Os resultados aqui apresentados referem-se à concentração efetiva CE50, FD e pH do extrato de lixiviação.

5.2.1 Lixiviado do Lodo

Tanto o lixiviado da amostra de Lodo fresco quanto do Lodo seco, após período de lixiviação de 18 horas, apresentaram um valor de pH superior a 9,00, respectivamente 9,46 e 9,05. O valor padrão do pH das amostras recomendado pela 20ª Edição do Standard Methods (APHA; AWWA & WEF, 1991) é entre 7,2 e 7,6 . Porém, faixas maiores com variação de pH entre 5,0 e 9,0 já foram utilizados, pois representam valores em que o organismo *Daphnia magna* sobrevive (FLOHR, 2007).

Assim, as amostras foram testadas toxicologicamente sem a correção deste parâmetro, afim de não alterar a amostra. Na Tabela 7 podem ser observados os resultados da CE50 (48) além dos valores do FD e pH.

Tabela 7 - Resultados dos parâmetros analisados para lixiviados do lodo fresco

Amostra	pH	Data coleta	Data Teste	CE(50)	FD
Lodo Fresco	9,46	23/01/08	28/01/08	Não Tóxica	1
Lodo Seco	9,05	23/01/08	28/01/08	Não Tóxica	1

A avaliação toxicológica do Lodo (“torta de lodo ou de polimento”) da fase de polimento do porcelanato mostrou que este não apresentou nenhum efeito tóxico sobre os organismos-teste, ou seja, tanto a amostra do lixiviado do lodo fresco, coletado na saída do filtro-prensa, quanto o lixiviado do lodo seco, coletado no pátio do parque fabril, obtiveram resultados negativos em relação à toxicidade, pois não causaram nenhum efeito agudo sobre o organismo-teste *Daphnia magna*. Assim, como a análise química do lixiviado apresentou valores das concentrações dos óxidos abaixo dos valores de referência indicados na NBR 100004/2004 (Tabela 6), os testes de toxicidade aguda confirmaram a inexistência de sinergismo entre estes elementos.

Resultados descritos por Nunes (2005), em estudo realizado em amostras do efluente tratado proveniente do processo de fabricação de porcelanato, demonstraram toxicidade aguda para o organismo *D. magna*. Contudo, este estudo foi realizado com amostra do efluente da ETE que

recebe todos os tipos de efluentes do processo de fabricação, incluindo o do processo de pigmentação das peças cerâmicas, etapa que utiliza tintas com metais tóxicos em sua composição.

Ferrari (2000) relatou a variação de toxicidade em efluentes líquidos da indústria de revestimentos cerâmicos. Em seu trabalho, as amostras analisadas foram coletadas em 8 pontos diferentes. Os pontos que apresentaram toxicidade foram na amostra de efluente líquido da moagem de matérias-primas naturais, devido à alta concentração de cálcio e no efluente líquido do setor de biqueima, neste efluente a concentração de chumbo é sempre acima do limite máximo permissível. Observou-se também, uma variação da toxicidade no efluente na etapa de preparação de tintas e vidrados, onde em uma primeira avaliação toxicologia este efluente apresentou tóxico devido a altas concentrações de óxidos, principalmente de chumbo e zinco, ultrapassando os limites legais. Na segunda avaliação feita com o mesmo efluente, este não se apresentou tóxico, resultado que pode ser explicado pela redução e/ou substituição de insumos.

5.2.2 Extrato Lixiviado dos Corpos de Prova

Os corpos de prova testados foram constituídos com 0%, 1%, 3% e 5% de lodo fresco. Esses percentuais foram pré fixados devido aos resultados dos ensaios laboratoriais feitos por vários pesquisadores, citando Fernandes (2002), Andrade (2007) e comprovados pela Olaria Tupi que demonstraram que a incorporação de até 5 % de lodo na massa padrão não afetam as características de absorção d'água, retração linear, e resistência mecânica.

Os resultados dos testes de toxicidade aguda com amostras dos lixiviados dos corpos de prova estão representados na Tabela 8. Apenas o pH do lixiviado do corpo de prova com 0% de resíduo ficou abaixo dos valores recomendados para testes de toxicidade, contudo, optou-se em não fazer a correção deste parâmetro, afim de não alterar a amostra.

Tabela 8 - Resultados dos parâmetros analisados para lixiviados dos corpos de prova.

Amostra	pH	Data coleta	Data Teste	CE(50)%	FD
Corpo de prova com 0% resíduo	4,74	09/08/07	14/08/07	35,35	4
Corpo de prova com 1% resíduo	5,25	09/08/07	12/09/07	70,71	2
Corpo de prova com 3% resíduo	5,56	09/08/07	12/09/07	70,71	2
Corpo de prova com 5% resíduo	6,72	09/08/07	12/09/07	70,71	2

Na avaliação dos lixiviados dos corpos de prova fabricados com diferentes percentuais do resíduo, observou-se que o tijolo padrão fabricado sem aplicação de lodo demonstrou maior toxicidade quando comparado com os tijolos acrescidos de resíduo da cerâmica. Este efeito pode ser explicado pela presença de ácidos orgânicos nas argilas usadas na fabricação destes tijolos. Assim, para os tijolos com incorporação de resíduo em sua fórmula, é possível que os minerais alcalinos presentes no lodo neutralizassem os compostos das argilas.

Oliveira (2008), num estudo que objetivou avaliar a influência da adição de um resíduo de curtume em uma massa argilosa comercial empregada na fabricação de cerâmicas estruturais, constatou, nos testes de toxicidade a *Daphnia similis*, a presença de toxicidade no solubilizado. Porém, amostras sem adição de resíduo também apresentaram toxicidade à *Daphnia similis*.

5.2.3 Extrato da Lixiviação Natural dos Corpos de Prova

Neste trabalho, os corpos de prova foram expostos às intempéries. Após três períodos de chuva, foi coletado um volume do lixiviado para cada período. Os resultados deste estudo estão apresentados de forma sintetizada na Tabela 9.

Tabela 9 - Resultados dos parâmetros analisados na lixiviação natural dos corpos de prova.

Exposição dos Corpos de Prova às Intempéries – Água de Chuva					
Amostra	pH	Data coleta	Data Teste	CE(50)	FD
1ª coleta					
Tijolo com 1%	5,24	18/09/07	19/09/07	Não tóxica	1
Tijolo com 3%	5,26	18/09/07	19/09/07	Não tóxica	2
Tijolo com 5%	5,19	18/09/07	19/09/07	Não tóxica	2
2ª coleta					
Tijolo com 1%	5,32	21/09/07	25/09/07	Não tóxica	1
Tijolo com 3%	5,28	21/09/07	25/09/07	Não tóxica	2
Tijolo com 5%	5,63	21/09/07	25/09/07	Não tóxica	2
3ª coleta					
Tijolo com 1%	5,14	27/09/07	25/09/07	Não tóxica	1
Tijolo com 3%	5,34	27/09/07	25/09/07	Não tóxica	1
Tijolo com 5%	5,71	27/09/07	25/09/07	Não tóxica	1

Os resultados mostraram que nenhuma amostra (água de cada coleta) apresentou toxicidade aguda, até mesmo as amostras com FD = 2, as quais não apresentaram número significativo de organismos-teste imóveis na diluição de 100% (amostra bruta).

5.3 TESTE DE TOXICIDADE CRÔNICA COM *Daphnia magna*

Para os testes de toxicidade crônica com *Daphnia magna*, optou-se em utilizar apenas as amostras dos lixiviados do lodo fresco e os lixiviados dos corpos de prova padrão, com 0% e com 5% de incorporação do resíduo.

O teste de toxicidade crônica depende diretamente dos resultados do teste de toxicidade aguda, uma vez que as concentrações utilizadas no teste crônico são pré-definidas pelo ensaio agudo. Portanto, antes de iniciar o ensaio crônico com *Daphnia magna*, foi realizado novamente o teste agudo com as amostras dos lixiviados do lodo fresco, lodo seco e dos corpos de prova com 0% e 5% de incorporação de resíduo. Os resultados estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Resultados dos parâmetros analisados para lixiviados das amostras usadas como diluentes no ensaio crônico com *Daphnia magna*.

Amostra	pH	Data coleta	Data Teste	CE(50) %	FD
Lodo fresco	8,85	23/01/08	02/09/09	Não Tóxica	1
Lodo seco	8,67	23/01/08	02/09/09	Não Tóxica	1
Corpo de Prova com 0% resíduo	7,60	09/08/07	02/09/09	Não Tóxica	2
Corpo de Prova com 5% resíduo	6,79	09/08/07	02/09/09	Não Tóxica	1

Os resultados para os testes crônicos realizados são demonstrados a seguir e separados por amostra.

5.3.1 Lixiviados do Lodo Fresco e Lodo Seco

Diante da ausência de toxicidade aguda na amostra da água de lixiviação do resíduo de polimento de porcelanato (Torta de Lodo), tanto do lodo fresco, coletado na saída do filtro-prensa, quanto do lodo seco, coletado no pátio fabril, foram realizados teste de toxicidade crônica para o organismo *Daphnia magna*. Estabeleceram como as diluições deste ensaio as concentrações de 100%, 80%, 64% e 51,2% além do controle negativo, isento de contaminante.

Os valores da sensibilidade dos organismos de *Daphnia magna* expostos aos ensaios foram de 0,81 mg.L⁻¹ K₂Cr₂O₇, no teste crônico com amostra de Lodo Fresco, de 0,86 mg.L⁻¹ K₂Cr₂O₇, no teste com amostra de Lodo Seco. Portanto, a sensibilidade dos organismos-teste utilizados estavam dentro da faixa recomenda (de 0,6 a 1,7 mg.L⁻¹ K₂Cr₂O₇).

Durante o teste de toxicidade crônica foram analisados os parâmetros de longevidade, crescimento e reprodução. A longevidade da *D. magna* exposta às amostras de água de lixiviação do lodo fresco, não apresentaram efeitos de toxicidade crônica (Figura 26).

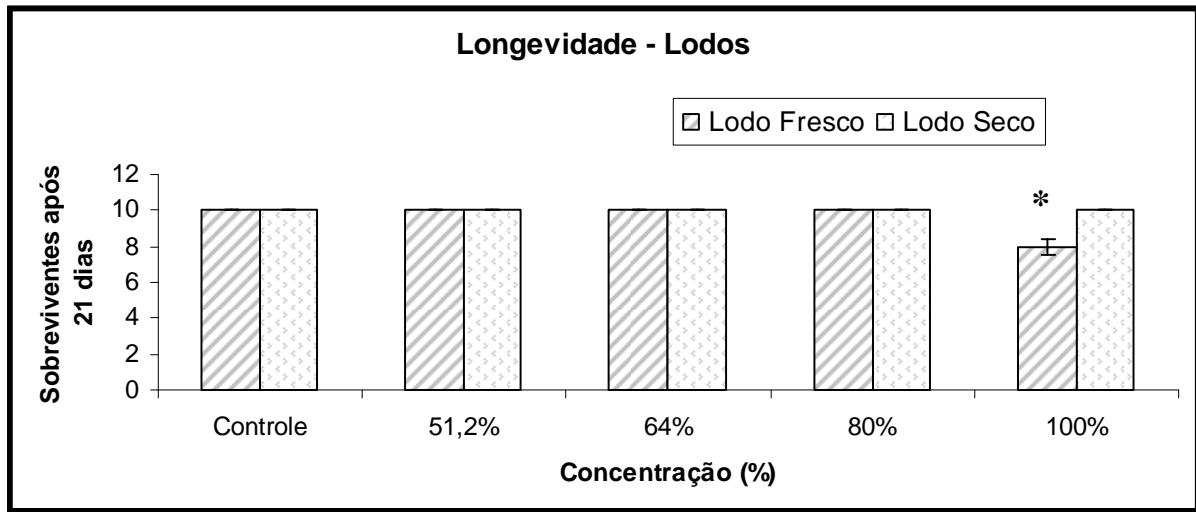


Figura 26 - Longevidade para *D. magna* no teste de toxicidade crônica realizado no lixiviado do Lodo Fresco e Lodo Seco.

*) a média para esta concentração é significativamente menor que a média do controle considerando um $\alpha = 0.05$ em um teste t com ajuste de Bonferroni.

Assim, pela ausência de efeito da amostra de Lodo Fresco sobre este parâmetro, não foi possível a determinação da CEO e da CENO. Porém, o lixiviado do Lodo Seco apresentou efeito crônico sobre a longevidade, sendo assim determinada a CEO como a concentração de 100% e a CENO de 80%.

Ao analisar o parâmetro crescimento para *D. magna* nos testes de toxicidade realizados nas amostras de lixiviado do lodo fresco e lodo seco foram observados efeitos de toxicidade crônica em todas as concentrações. A Tabela 11 apresenta os resultados para o parâmetro crescimento obtidos do programa estatístico Dunnett Program referente ao teste crônico com *Daphnia magna* nas amostras de lodo fresco e lodo seco. A Figura 27 ilustra os efeitos observados sobre o crescimento.

Tabela 11 - Resultado referente aos efeitos tóxicos sobre a crescimento de *D. magna* no Lodo Fresco.

Concentração %	n	Média Tamanho (mm)	Desvio Padrão	Coef. Variação %
Controle	10	4,90	0,31	6,5
51,2*	10	4,10	0,31	7,7
64*	10	3,90	0,31	8,1
80*	10	3,60	0,52	14,3
100*	8	3,12	0,35	11,3

*) a média para esta concentração é significativamente menor que a média do controle considerando um $\alpha = 0.05$ em um teste t com ajuste de Bonferroni.

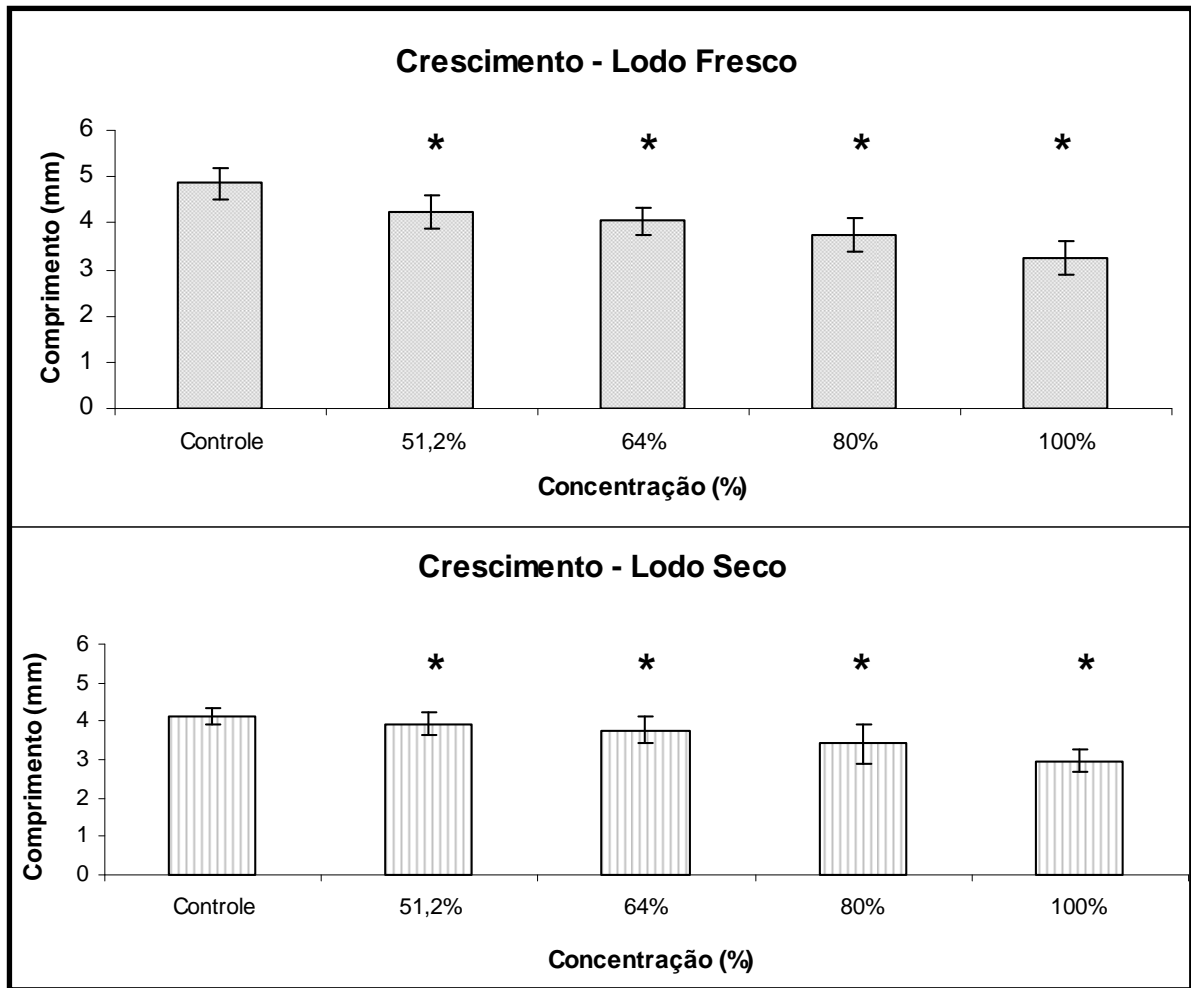


Figura 27 - Crescimento para *D. magna* no teste de toxicidade crônica realizado com a água de lixiviação da torta de lodo.

*) a média para esta concentração é significativamente menor que a média do controle considerando um $\alpha = 0.05$ em um teste t com ajuste de Bonferroni.

O crescimento de *D. magna* foi avaliado após os 21 dias de teste e, durante este estudo, foram observados efeitos de toxicidade crônica nas duas amostras. Desta forma foi possível determinar a CEO de 51,2%. Para este teste não foi observado a CENO, a qual está abaixo da concentração de 51,2%.

A reprodução de *D. magna* foi observada levando em consideração o número médio de filhotes gerados por postura em cada réplica.

Diferentemente dos resultados obtidos para o parâmetro longevidade, a reprodução apresentou efeitos tóxicos crônicos em todas as diluições das amostras de lodo testadas. Portanto, foi possível determinar somente a CEO que correspondeu à diluição de 51,2%, sendo que a CENO encontra-se abaixo da diluição de 51,2% de amostra. Os resultados obtidos para a reprodução de *D. magna* para os quatro testes realizados podem ser visualizados na Tabela 12 e na Figura 28.

Tabela 12 - Resultado referente aos efeitos tóxicos sobre a reprodução de *D. magna* no Lodo Fresco e Lodo Seco.

Reprodução - Lodo Fresco				
Concentração %	n	Média	Desvio Padrão	Coef. Variação %
Controle	10	16,20	1,93	11,9
51,2*	10	13,20	1,40	10,6
64*	10	10,30	2,75	26,7
80*	10	9,50	1,78	18,7
100*	7	8,00	1,91	23,9
Reprodução - Lodo Seco				
Concentração %	n	Média	Desvio Padrão	Coef. Variação %
Controle	10	14,80	1,81	12,3
51,2*	10	11,00	0,82	7,4
64*	10	9,50	1,65	17,4
80*	10	8,10	1,20	14,8
100*	10	6,20	1,32	21,2

*) a média para esta concentração é significativamente menor que a média do controle considerando um $\alpha = 0.05$ em um teste t com ajuste de Bonferroni.

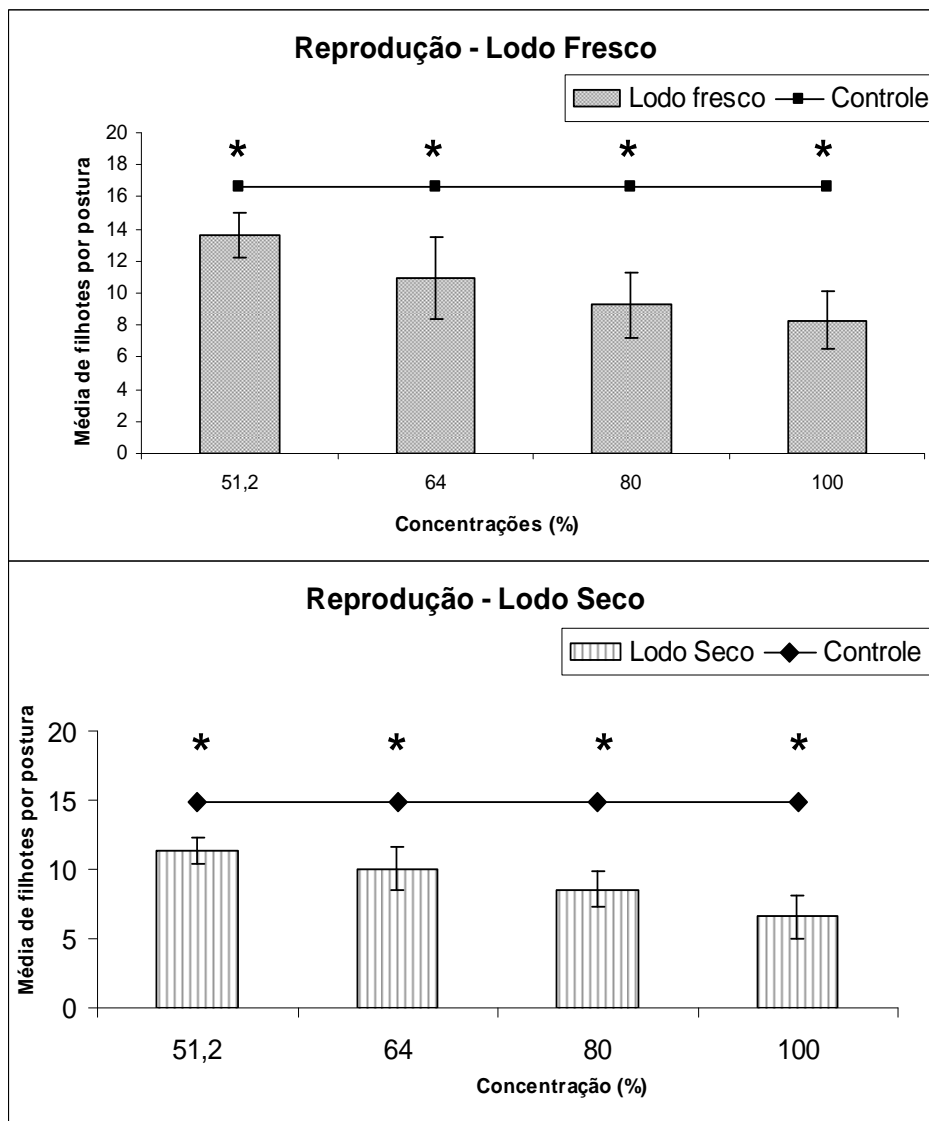


Figura 28 - Reprodução para *D. magna* no teste de toxicidade crônica realizado para amostras do Lodo Fresco e Lodo Seco.

*) a média para esta concentração é significativamente menor que a média do controle considerando um $\alpha = 0.05$ em um teste t com ajuste de Bonferroni.

Ao final do teste crônico com amostras de lodo, foram observadas também alterações morfológicas, as quais foram registradas em 4 indivíduos. Um indivíduo pertencia à diluição de 100% da amostra correspondente ao lodo fresco e as outras 3 observações foram na amostra do lodo seco, nas concentrações de 64%, 80% e 100%. A alteração observada foi um encurtamento do espinho apical.

A Figura 29 demonstra alteração morfológica registrada para este indivíduo, onde em (A) representa o indivíduo com encurtamento apical enquanto que (B) representa um indivíduo

com espinho apical normal. Não ficou evidente um padrão claro de frequência do aparecimento deste problema em vista da relação do número de aparecimentos desta má formação e o número total de organismos expostos por diluição.

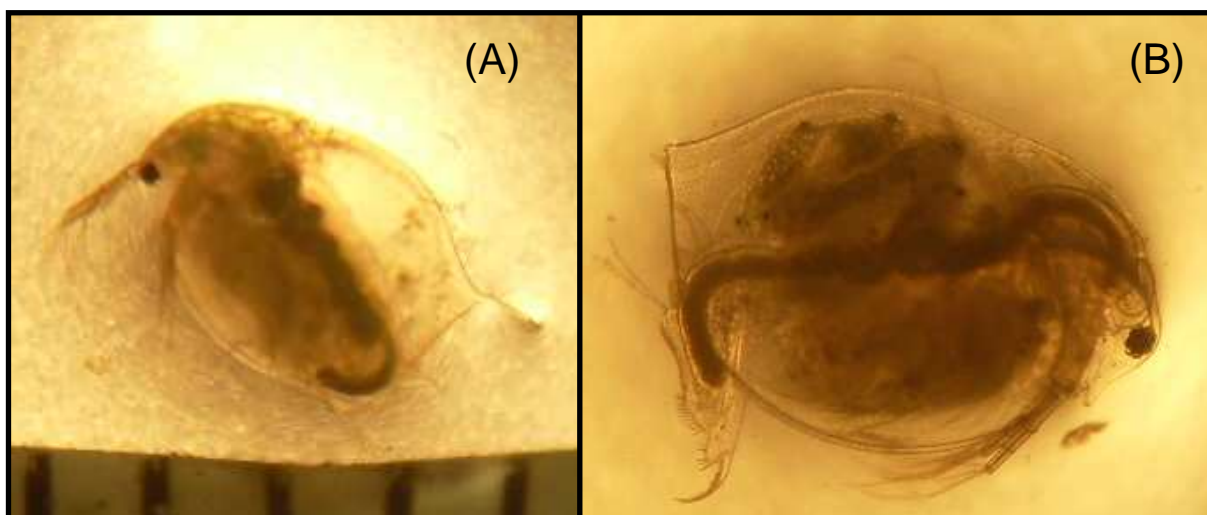


Figura 29 - Alterações morfológicas observadas nos indivíduos testados. (A) espinho apical com desenvolvimento normal, (B) encurtamento do espinho apical.

Alteração similar de encurtamento do espinho apical foi reportada por FUZINATTO, (2008) em amostras de água de rio.

As malformações observadas não foram computadas para avaliação da toxicidade crônica por não estarem previstas na realização deste trabalho e por falta de dados na literatura sobre o tema.

5.3.2 Lixiviados dos Corpos de Prova

Para os ensaios de toxicidade crônica com o organismo *Daphnia magna*, foram utilizados apenas as amostras dos lixiviados dos corpos de prova com 0% e 5% de incorporação de resíduo na massa cerâmica. Estabeleceram como as diluições deste ensaio as concentrações de 100%, 80%, 64% e 51,2%.

Os valores da sensibilidade dos organismos de *Daphnia magna* expostos aos ensaios crônicos da amostras dos corpos de prova foi de 1,01 mg.L⁻¹ K₂Cr₂O₇ estando dentro da faixa de valores de sensibilidade indicada ao organismo.

Durante o teste de toxicidade crônica foram analisados os parâmetros de longevidade, crescimento e reprodução.

A longevidade da *D. magna* exposta às amostras de água de lixiviação dos corpos de prova, apresentaram efeitos de toxicidade crônica (Figura 30).

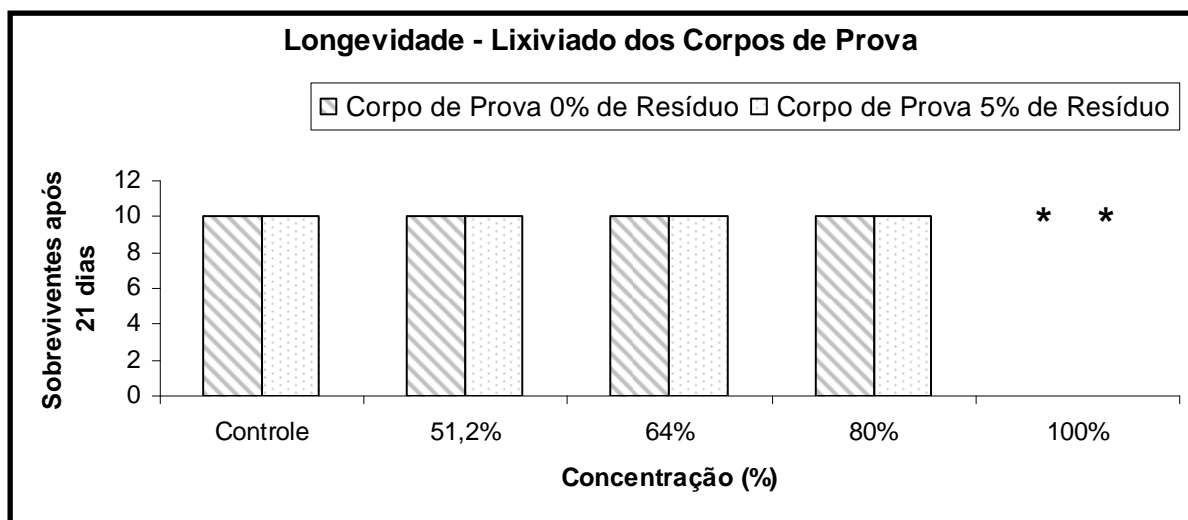


Figura 30 - Longevidade para *D. magna* no teste de toxicidade crônica realizado no lixiviado do Lodo Fresco. *) a média para esta concentração é significativamente menor que a média do controle considerando um $\alpha = 0.05$ em um teste t com ajuste de Bonferroni.

Observou-se que tanto para a amostra do lixiviado do corpo de prova com 0% de resíduo como para o de 5% de resíduo, ocorreu mortalidade de todas as réplicas da diluição de 100% antes do 18º dia de teste. Assim, pode-se determinar a CEO como sendo a diluição de 100% e a CENO sendo a diluição de 80%.

Ao analisar o parâmetro crescimento para *D. magna* nos testes de toxicidade realizados nas amostras de lixiviado dos corpos de prova de 0% e 5% de incorporação de resíduo foram observados efeitos de toxicidade crônica. Os resultados obtidos para o crescimento de *D. magna* referente as amostras dos lixiviados dos corpos de prova de 0 e 5% de incorporação de resíduo podem ser visualizados na Tabela 13 e também são apresentados na Figura 31 apresenta os resultados.

Tabela 13 - Resultado referente aos efeitos tóxicos sobre o crescimento de *D. magna* nos lixiviados dos Corpos de Prova.

Crescimento – Corpo de Prova com 0% Resíduo				
Concentração %	n	Média	Desvio Padrão	Coef. Variação %
Controle	10	4,80	0,42	8,8
64*	10	3,90	0,32	8,1
80*	10	3,80	0,42	11,1
100*	10	3,60	0,52	14,3
Crescimento – Corpo de Prova com 5% Resíduo				
Concentração %	n	Média	Desvio Padrão	Coef. Variação %
Controle	10	4,80	0,42	8,8
64*	10	3,80	0,42	11,1
80*	10	3,60	0,69	19,4
100*	10	3,70	0,67	18,2

*) a média para esta concentração é significativamente menor que a média do controle considerando um $\alpha = 0.05$ em um teste t com ajuste de Bonferroni.

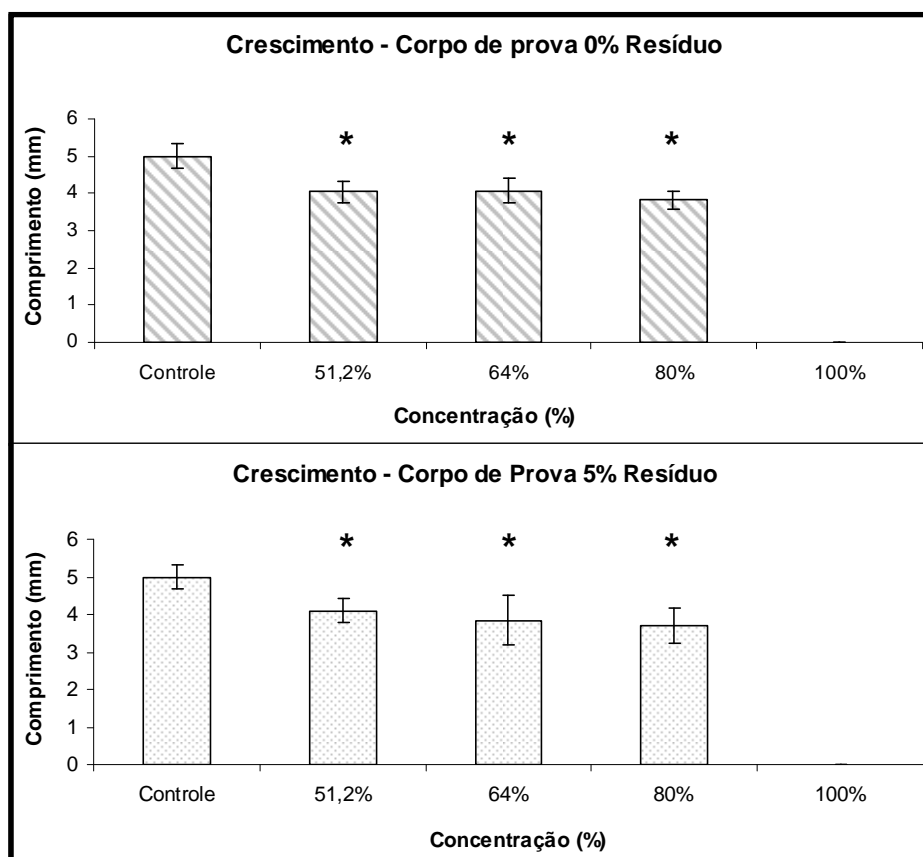


Figura 31 - Crescimento para *D. magna* no teste de toxicidade crônica realizado com a água de lixiviação da torta de lodo.

*) a média para esta concentração é significativamente menor que a média do controle considerando um $\alpha = 0.05$ em um teste t com ajuste de Bonferroni.

O crescimento da *D. magna* foi avaliado após os 21 dias de teste e, durante este estudo, foram observados efeitos de toxicidade crônica nas duas amostras para todas as diluições. Desta forma foi possível determinar a CEO de 64%. Para este teste a CENO não foi observada, ficando abaixo da concentração de 64%.

A reprodução de *D. magna* foi observada levando em consideração o número médio de filhotes gerados por postura em cada réplica.

A reprodução apresentou efeitos tóxicos crônicos em todas as diluições das amostras de lodo testadas. Portanto, foi possível determinar somente a CEO que correspondeu à diluição de 51,2%, sendo que a CENO encontra-se abaixo da diluição de 51,2% de amostra. Os resultados obtidos para a reprodução de *D. magna* para os quatro testes realizados podem ser visualizados na Tabela 14 e na Figura 32.

Tabela 14 - Resultado referente aos efeitos tóxicos sobre a reprodução de *D. magna* nos lixiviados do Corpo de Prova com 0% de Resíduo e no Corpo de Prova com 5% de Resíduo.

Reprodução – Corpo de Prova com 0% Resíduo				
Concentração %	n	Média	Desvio Padrão	Coef. Variação %
Controle	10	11,70	1,25	10,7
51,2*	10	8,90	2,56	28,7
64*	10	9,60	1,78	18,5
80*	10	8,60	1,26	14,7
Reprodução – Corpo de Prova com 5% Resíduo				
Concentração %	n	Média	Desvio Padrão	Coef. Variação %
Controle	10	11,70	1,25	10,7
51,2*	10	10,20	2,04	20,0
64*	10	9,33	1,50	16,1
80*	10	9,00	1,00	11,1

*) a média para esta concentração é significativamente menor que a média do controle considerando um $\alpha = 0.05$ em um teste t com ajuste de Bonferroni.

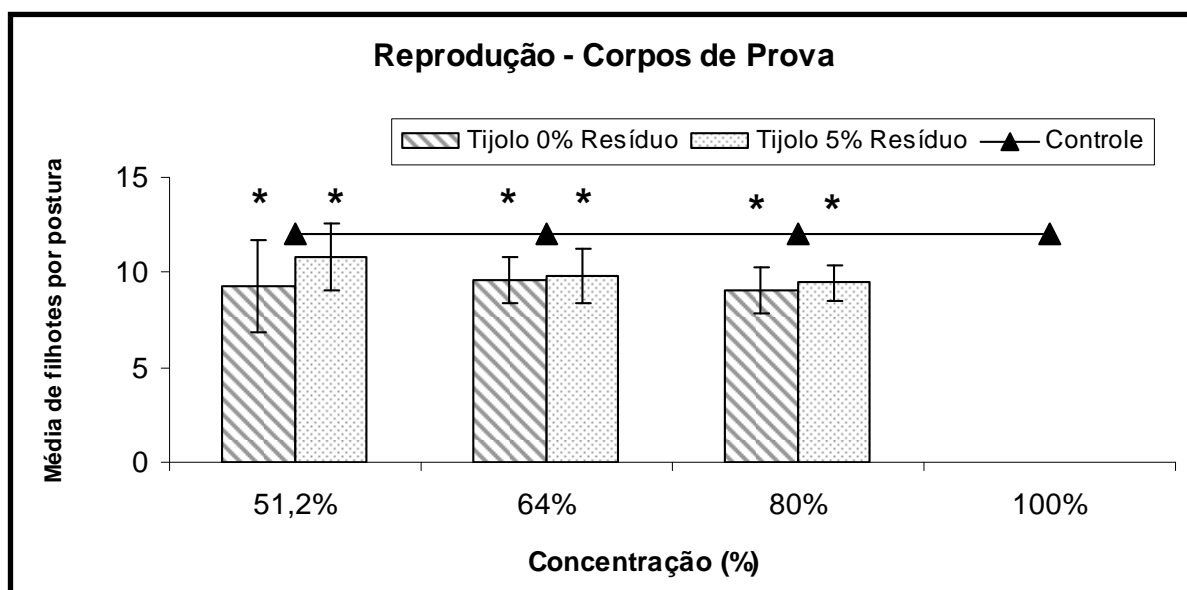


Figura 32 - Reprodução para *D. magna* no teste de toxicidade crônica realizado para amostras do corpo de prova com 0% de incorporação de resíduo e do corpo de prova com 5% de incorporação de resíduo.

*) a média para esta concentração é significativamente menor que a média do controle considerando um $\alpha = 0.05$ em um teste t com ajuste de Bonferroni.

5.4 TESTE DE TOXICIDADE COM *Eruca sativa*

A amostra utilizada para o teste de toxicidade com *E. sativa* foi o lixiviado do lodo fresco. Os resultados do Teste de germinação (TG) mostram que não houve diferença significativa das sementes tratadas com amostra pura do lixiviado do lodo em relação ao controle. Ou seja, a amostra não influenciou de forma negativa na germinação das sementes, avaliado aos sete dias após a emergência. Contudo, para as concentrações de 25 e 50% observou-se um maior percentual de germinação das sementes. Isso pode ser justificado pela presença de minerais na amostra e que nessas concentrações beneficiam a fase de germinação. As médias são apresentadas na Tabela 15.

Tabela 15 - Porcentagem média de germinação para sementes de rúcula testadas, submetidas à concentrações crescentes do extrato lixiviado do lodo.

Amostra de Lixiviado do Lodo Fresco					
Diluições	Controle	12,50%	25%	50%	100%
Germinação (%)	92,5	92	99	98	91

Todavia, plântulas provenientes de sementes que foram expostas à amostra pura (lixiviado do lodo), apresentaram seu crescimento afetado quando comparadas às oriundas de sementes expostas às diluições menores da amostra e ao controle. O percentual de plântulas anormais está representado na Tabela 16. Possivelmente este resultado se deve a algum componente ou mistura de componentes da amostra que afetam o crescimento das plântulas de rúcula. Também a falta de nutrientes orgânicos pode estar afetando esta fase de crescimento das plantas.

Tabela 16 - Comprimento médio das plântulas de rúcula obtido com diferentes concentrações do lixiviado do lodo.

Diluição (%)	Média do Tamanho (mm)
Controle	20,72 <i>a</i>
12,5	19,11 <i>ab</i>
25	18,12 <i>abc</i>
50	17,47 <i>bc</i>
100	16,24 <i>c</i>

NOTA: Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste de Tukey, a 5%.

5.5 TESTE DE TOXICIDADE COM *Eisenia fetida*

5.5.1 Ensaio de Comportamento

Para a realização do ensaio de comportamento, os substratos testados estão representados na Tabela 17.

Tabela 17 - Identificação das amostras utilizadas para o Ensaio de Comportamento.

Amostra	Nomenclatura
Lodo fresco coletado na saída do filtro-prensa	Amostra 1
Lixiviado do lodo fresco coletado na saída do filtro-prensa	Amostra 2
Lixiviado do Corpo de Prova com 0% de resíduo	Amostra 3
Lixiviado do Corpo de Prova com 5% de resíduo	Amostra 4

No ensaio com o Amostra 1, o recipiente foi dividido em duas seções, uma preenchida com o solo reconstituído (solo controle) e a outra com o lodo bruto. Os resultados preliminares para o ensaio de comportamento mostraram que para a Amostra 1, proveniente da saída do filtro-

prensa, 100% dos organismos foram encontrados vivos na seção que continha o solo controle, ou seja, fugiram da seção que continha a amostra, indicando que esta amostra pode ser considerada tóxica, apresentando sua função de habitat limitada. Essa limitação pode ser explicada pela ausência de nutrientes orgânicos na amostra bruta do lodo.

Para as amostras 2, 3 e 4, os solos-teste, contaminados com os lixiviados, não foram considerados tóxicos pelo ensaio de comportamento, uma vez que 45% , 30 % e 35 % dos organismos, respectivamente, foram encontrados na seção onde estava o solo-teste. Dessa forma, procedeu-se aos ensaios de letalidade apenas com estas amostras.

Sissino *et al* (2006), ao realizar ensaios de toxicidade com minhocas em amostras naturais provenientes de áreas contaminadas por hidrocarbonetos, descreveram que o ensaio de comportamento representa um indicador rápido da toxicidade, sendo assim um indicador para testes mais prolongados.

5.5.2 Ensaio de Letalidade

Na Tabela 18 estão representados os resultados do ensaio de letalidade com o organismo *Eisenia fetida*.

Tabela 18 - Número de indivíduos vivos por amostra de solos contaminados e no solo de referência.

Amostra	Nº de Indivíduos Expostos	Nº de Indivíduos Vivos após 14 dias de exposição
Solo Controle (SC)	20	20
SC + Lixiviado do Lodo fresco	20	20
SC + Lixiviado do Corpo de Prova com 0% resíduo	20	20
SC + Lixiviado do Corpo de Prova com 5% resíduo	20	20

No ensaio de letalidade (toxicidade aguda), os 20 organismos expostos ao solo contaminado sobreviveram aos 14 dias de duração do teste, indicando a ausência de toxicidade das amostras.

Até a presente data, não foi encontrado nenhum trabalho científico que avalie a toxicidade do lodo proveniente do tratamento do efluente da etapa de polimento de porcelanato utilizando a minhoca *Eisenia fetida*. Contudo, existem vários estudos sobre avaliação toxicológica de contaminantes em solo ou de solos provenientes de áreas contaminadas, principalmente com derivados de petróleo, que utilizam espécies de minhocas como bioindicadores.

No estudo realizado por Barros (2007), onde analisou-se a toxicidade do diesel para minhocas, os resultados mostraram que a partir de 0,06 % mL/g ocorre o início da mortalidade das minhocas e esta sofre acréscimo com pequenos incrementos da concentração do contaminante. Para este estudo a concentração letal para 50% da população (CL50), foi de 0,1% mL/g de diesel.

Resultados similares foram apresentados por Labre *et al* (2007), ao avaliar faixa de concentração de óleo diesel letal para as minhocas, foi possível observar que em concentrações acima de 0,05 % (v/p), iniciou-se a mortalidade das minhocas.

6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo permitem concluir que:

Os extratos lixiviados das amostras de lodo coletado, produzido no processo de polimento de porcelanato da indústria cerâmica Portobello S.A., não apresentaram toxicidade aguda acima dos limites estabelecidos pela Portaria FATMA nº 17/2002 para o organismo-teste *Daphnia magna*.

Os extratos lixiviados dos corpos de prova, fabricados com incorporação de 1%, 3% e 5% da “torta de lodo”, não apresentaram toxicidade aguda acima dos limites estabelecidos na Portaria FATMA nº 17/2002 para o organismo-teste *Daphnia magna*. Ainda, foi observado que a segunda lixiviação realizada com os corpos de prova apresentaram um valor de CE(50) menor, sugerindo uma diminuição da toxicidade aguda.

Quanto à avaliação da toxicidade crônica com *Daphnia magna*, o resíduo bruto (lodo fresco) apresentou efeitos sobre o crescimento e a reprodução dos organismos expostos aos lixiviados. O mesmo foi observado para os lixiviados dos corpos de prova, além do efeito na longevidade.

Na avaliação realizada com sementes de rúcula, não foi observado nenhum efeito significativo na germinação destas. Quanto ao crescimento das plântulas, somente houve diferença significativa em relação ao controle negativo das plantas expostas às concentrações de 50 e 100% da amostra. Este efeito pode estar relacionado com a falta de nutrientes orgânicos na amostra.

Quanto à avaliação realizada com o organismo terrestre *Eisenia fetida*, apenas a amostra de lodo bruto, testada no ensaio de comportamento, apresentou toxicidade, este efeito possivelmente se deve à ausência total de nutrientes. Já a incorporação do resíduo ao solo artificial (solo reconstituído), por meio do seu extrato lixiviado ao solo artificial, não apresentaram efeito agudo à espécie de minhoca testada.

7 RECOMENDAÇÕES

Com base nos estudos realizados, ressalta-se a importância de realização de testes utilizando organismos representantes do ecossistema terrestre para avaliação toxicológica dos resíduos industriais. Contudo, é necessária a realização de mais estudos, principalmente em longo prazo, que avaliem a toxicidade dos resíduos.

Para isto recomenda-se em próximos trabalhos:

Realização de teste de toxicidade aguda como forma de monitoramento em longo prazo do resíduo de polimento de porcelanato.

Realização de teste de toxicidade crônica com o oligoqueta *Eisenia fetida*.

Realizar estudos de mutagenicidade e genotoxicidade.

Realização de estudos que comprovem que os óxidos de metais tóxicos ficarão inertizados no próprio corpo cerâmico.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEGRETE, Carla Andrea Lopes. **Qualidade, Produtividade e Meio-ambiente: uma proposta para o desenvolvimento de um revestimento cerâmico livre de chumbo.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Santa Maria, RS. 2004.

ANDRADE, J. C. S. & PASKOCIMAS, C. A. **Incorporação de resíduo sólido proveniente do polimento de grês porcelanato na indústria de cerâmica vermelha.** 51º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Salvador, Bahia. 2007.

ANFACER – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTOS. Disponível em: <http://www.anfacer.org.br>. Acesso em: 17 fevereiro 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA - ABCeram. **Panorama da cerâmica no Brasil.** 2007. Disponível em: <http://www.abceram.org.br>. Acesso em: 17 fevereiro 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, 2004, 71 p.

_____. **Resíduos sólidos – Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos.** NBR 10.005. Rio de Janeiro: ABNT, 2004c.

_____. **Amostragem de Resíduos Sólidos.** NBR 10.007. Rio de Janeiro: 2004d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ecotoxicologia aquática - Toxicidade aguda - Método de ensaio com *Daphnia spp.* (Cladocera, Crustacea):** NBR 12.713. Rio de Janeiro: ABNT, 2003a.

_____. **Ecotoxicologia aquática – Toxicidade crônica – Método de ensaio com *Ceriodaphnia spp.* (Crustacea, cladocera).** NBR 13.373. Rio de Janeiro: ABNT, 2003b.

_____. **Ecotoxicologia terrestre - Ecotoxicidade aguda - Método de ensaio com minhocas - Especifica um método para avaliação da ecotoxicidade aguda para a espécie de minhoca *Eisenia fetida*, com amostras de solos e substâncias químicas.** Rio de Janeiro: NBR 15.537, 2007.

BARBA, A.; FELIU, C.; GARCIA, J.; GINÉS, F.; SÁNCHEZ, E.; SANZ, V. **Matérias-primas para la fabricación de soportes de baldosas cerâmicas.** Instituto de Tecnologia Cerâmica – AICE. Castellón. 1997.

BARNES, R. **Zoologia de los Invertebrados**, 3a edição, Interamericana, São Paulo, 1977.

BARROS, S.B.M.; DAVINO, S.C. **Avaliação da Toxicidade**. In: OGA, S. (org). Fundamentos da Toxicologia. Editora Atheneu. 2ª edição. São Paulo-SP. p.59-67, 2003.

BARROS, Débora de. **Avaliação da ecotoxicidade de solos contaminados por hidrocarbonetos**. Rio de Janeiro/SC. 52p. Monografia (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química. Rio de Janeiro. 2007.

BASTOS, Rodrigo Alves de Brito. **Áreas de Fragilidade Ambiental: uma abordagem metodológica para áreas de expansão urbana com risco potencial à erosão. Estudo de caso: Bairro Urbanova – São José dos Campos/SP**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional). Programa de Pós Graduação em Planejamento Urbano e Regional. Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento da Universidade do Vale do Paraíba. São José dos Campos: UNIVAP. 2006.

BERNARDIN, Adriano Michael; FELISBERTO, Diana de Souza; DAROSA, Maisa Topanotti & RIELLAB, Humberto Gracher. **Reaproveitamento de Resíduos de Polimento e de Esmaltação para Obtenção de Cerâmica Celular**. Revista Cerâmica Mundial, v. 11, setembro/ dezembro, 2006. Disponível em: <http://www.ipen.br/biblioteca/2006/12844.pdf>. Acesso em: 05 outubro 2009.

BERTOLETTI, E.; DOMINGUES, D. F. Seleção, Manutenção e Cultivo de Organismos Aquáticos. In: ZAGATTO, P. A.; BERTOLETTI, E. (Org.) **Ecotoxicologia Aquática - princípios e aplicações**. São Carlos: RIMA, 2006.

BERTOLETTI, E. Ecotoxicologia aquática. In: MAIA, N. B.; MARTOS, H. L. BARRELA, W. (Eds.) **Indicadores Ambientais: conceitos e aplicações**. EDUC, São Paulo, p. 219 – 228, 2001.

BÓ, Marcelo Dal. **Utilização de rejeitos da indústria de revestimentos cerâmicos no processamento de refratários triaxiais obtidos por delineamento de misturas**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Divisão de Laboratório Vegetal. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília. 1992.

_____. Lei nº 9.433. Institui a política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei no 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei no 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, 08 de janeiro de 1997.

_____. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 357. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e de outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 17 de março de 2005.

BRENTANO, D. M. ; PINTO, C. R. S. C. ; MACHADO, V. G. MATIAS WG ; FLOHR, L. . **Classificação de resíduos sólidos industriais com base em testes ecotoxicológicos utilizando *Daphnia magna*: uma alternativa.** BIOTEMAS, Florianópolis, v. 18, n. 2, p. 7-18, 2005.

BRENTANO, D. M. **Desenvolvimento e aplicação do teste de toxicidade crônica com *Daphnia magna*: Avaliação de efluentes tratados de um aterro sanitário.** Florianópolis – SC. 130p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. 2006.

BURATINI, S.; BERTOLETTI, B.; ZAGATTO, P. A. Evaluation of *Daphnia similis* as a test species in ecotoxicological assays. **Bull. Environ. Contam. Toxicol.**, v. 73, n. 5, p. 878-882. 2004.

BUSTAMANTE, Gladstone Motta; BRESSIANI, José Carlos. **A indústria cerâmica brasileira.** Cerâmica Industrial, São Carlos, v.5, n.3, maio/jun., 2000.

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (**Banco de Teses**) Disponível em: <http://www.capes.gov.br/servicos/bancoteses.html>. Acesso em: 11 maio 2009.

CAMPOS, L.F.A.; MENEZES, R.R.; SANTANA, L.N.L.; NEVES, G.A. e FERREIRA, H.C. **Planejamento experimental no estudo da maximização do teor de resíduos em blocos e revestimentos cerâmicos.** Cerâmica, v. 53, nº.328. São Paulo. 2007.

CARVALHO PINTO-SILVA, C.R. ; MOUHA, S. ; MATIAS, William Gerson ; CREPPY, Edmond . **Domoic acid induces direct DNA damage and apoptosis in Caco-2 cells: Recent advances.** *Environmental Toxicology*, v. 2, p. Ftox.20361-11, 2008.

CASAGRANDE, M. C. **Efeito da adição de chamote semi-gresificado no comportamento físico e químico da massa cerâmica para pavimento .** Florianópolis – SC. 66p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Departamento de Engenharia de materiais, Universidade Federal de Santa Catarina. 2002.

CHANDRA, S. et al. Comparative biomonitoring of leachates from hazardous solid waste of two industries using *Allium* test. **Science of Total Environment**, v. 347, p. 46-52, 2005.

CHASIN, A.A. da M.; PEDROZO, M. de F.M. O estudo da toxicologia. In: AZEVEDO, F.A.; CHASIN, A.A. da M. (org) **As bases toxicológicas da ecotoxicologia.** São Carlos: RIMA, 2003.

COELHO, J.M. **A importância das matérias-primas minerais na competitividade de segmentos cerâmicos.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP. 1996.

CONSTANTINO, Alberto de Oliveira; ROSA, Sergio Eduardo Silveira da & CORRÊA, Abidack Raposo. **Panorama do setor de Revestimentos Cerâmicos.** Departamento de Bens

de Consumo, BNDES. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: www.bndes.gov.br. Acesso em: 17 fevereiro 2009.

COSTA, C. R. *et al.* A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, v. 31, n. 7, p. 1820-1830, 2008.

COSTA, M. **Resíduos sólidos; os caminhos para resolver o problema. Revista Banas Ambiental**. São Paulo, n. 06, p. 14-18, abr. 2000.

COSTA, M. A., TOLEDO, J. C.. **Estratégias competitivas e de produção das indústrias de revestimento cerâmico do Pólo de Santa Gertrudes - São Paulo**. IV Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção, São Paulo, 2008.

DAPHNIAS, 9B. Blogger. **A sua morfologia**. Disponível em: <http://www.blogger.com/feeds/6638329543338898336/posts/default>. Acesso em: 02 abril 2009.

DONAIRE, D. **Gestão Ambiental na Empresa**. São Paulo, SP: Atlas, 1995.

EDWARDS, C.A.; BOHLEN, P.J. **Biology and ecology of earthworms**. 3.ed. London: Chapman & Hall, 1996. 426p.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. USEPA. **Volunteer Stream Monitoring: A Methods Manual**: EPA 841-B-97-003. Washington, USA: EPA, 1997. Disponível em < <http://www.epa.gov/volunteer/stream/index.html>> Acesso em: 15 dezembro 2009.

_____. **Short-term Methods for Estimating the Chronic Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwater Organisms**: EPA 821-R-02-013. 4th ed. Washington, USA: EPA, 2002.

_____. EMSL Cincinnati **Dunnet Software version 1.5**. Disponível em: <http://www.epa.gov/nerleerd/stat2.htm#dunnett> EPA, 2008. Acesso em: 07 abril 2010.

ESTADO DE SANTA CATARINA. Fundação do Meio Ambiente. Portaria nº 17 de 18 de abril de 2002: **Limites Máximos de Toxicidade Aguda para efluentes de diferentes origens**. Disponível em: <www.fatma.sc.gov.br>. Acesso em: 17 fevereiro 2009.

FERNANDES, Patrícia de Freitas. **Reaproveitamento do Lodo da Estação de Tratamento de Efluentes de uma Indústria Cerâmica**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Santa Catarina. 2002.

FERRARI, Kátia Regina. **Aspectos Ambientais do Processo de Fabricação de Placas de Revestimentos Cerâmicos (via úmida), com Ênfase dos Efluentes Líquidos**. Tese de Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Autarquia associada à Universidade de São Paulo. São Paulo – SP. 2000.

FERRAZ, Andréa de Vasconcelos. **Reaproveitamento de subproduto industrial de polimento de porcelanatos no desenvolvimento de novos materiais de interesse da indústria para redução do impacto ambiental.** Tese (Doutorado em Ciência de Materiais) – Universidade Federal de Pernambuco. 2007.

FINKLER, R. **Avaliação de efeito tóxico de líquidos percolados sobre o sistema reprodutivo de *Daphnia magna*.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 105p. 2002.

FIGUEIREDO FILHO, P.M.; FERRARI, K.R.; PASCHOAL, J.O.A. **O setor de revestimento cerâmico e o meio ambiente.** In: V Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente. Novembro 1999. São Paulo. *Anais...*São Paulo, SP: Plêiade 1999b.

FLOHR, L. **Ensaio toxicológicos com microcrustáceos como alternativa para classificação de resíduos sólidos industriais.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2007.

FONSECA, A. L. **Avaliação da qualidade da água na Bacia do Rio Piracicaba através de testes de toxicidade com invertebrados.** Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento). UFSCar, São Paulo. 1997.

FURTADO, M. **Destino limpo para o lixo industrial.** Revista Química e Derivados, São Paulo, n. 387, p. 10-31, out. 2000.

FUZINATTO, Cristiane Funghetto. Proposta de projeto de pesquisa para Mestrado em Engenharia Ambiental. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. 2008.

GORINI, Ana Paula Fontenelle & CORREA, Abidack Raposo. **Cerâmica para Revestimentos.** BNDES Setorial. Rio de Janeiro, RJ. 1999. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/conhecimento/Bnset/set1005.pdf>. Acesso em: 25 fevereiro 2009.

GREGO, M.I.B.M.. **Estudos dos Efeitos da aditivção de argilas com tortas de filtração para produzir blocos de vedação.** Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Estadual de Paulista. Rio Claro, SP. 1998.

GRUN, Elayne. **Caracterização de Argilas Provenientes de Canelinha / SC e Estudo de Formulações de Massas Cerâmicas.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC. Joinville, SC. 2007

GUIMALHÃES, Afrânio Augusto. **Eisenia fetida ou andrei?. Revista eletrônica Zoonews.** Publicado em: 27/04/2008. Disponível em: www.zoonews.com.br/noticiax.php?idnoticia=139228. Acesso em: 20 janeiro 2010.

GUSMÃO, R.P.; MAIO, RC.; CARREIRA, M.E.P.C.; ESTEVES, M.G.; BRANCO, M.L.G.C. & AMÊNDOLA, P.L. **Diagnóstico do Brasil – A Ocupação do Território e o Meio Ambiente.** Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 1990.

HINTON, J.. **Earthworms as a bioindicator of mercury pollution in an artisanal gold mining community, Cachoeira do Piriá, Brazil**. Dissertação (Mestrado), Institute of Mining Engineering, University of British Columbia, 136p . 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Portaria Normativa nº 84/96 - Anexo IV - Parte D – Toxicidade para organismos não-alvo**. IBAMA. Brasília. 1996. 35p. Disponível em: http://servicos.ibama.gov.br/ctf/manual/html/Portaria_84.pdf. Acesso em: 12 janeiro 2009.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - *Draft*. Avoidance test for testing the quality of soils and the toxicity of chemicals – Part 1: test with earthworms (*Eisenia fetida*). Geneva, ISO. 2002

KNIE, J. L. W.; LOPES, E. W. B. **Testes Ecotoxicológicos: métodos, técnicas e aplicações**. Florianópolis: FATMA/ GTZ, 2004.

KÖRDEL, W. & HUND-RINKE, K., “**Ecotoxicological Assesment of Soils- Bioavailability from an Ecotoxicological Point of View**”. In: STEGMANN, R., BRUNNER, G., CALMANO, W., MATZ, G. (Eds.), *Treatment of Contaminated Soil*, chapter 12, Berlin, Germany, Springer, 2001.

KUMMER, Larissa *et al*. **Reutilização dos Resíduos de Polimento de Porcelanato e Feldspato na Fabricação de Novo Produto Cerâmico**. Revista Cerâmica Industrial, v. 12, maio/junho, 2007. Disponível em: <http://www.ipen.br/biblioteca/2007/12843.pdf>. Acesso em: 06 julho 2009.

LOMBRIMUNDO. Site de pesquisa. **Anatomia**. Disponível em: www.lombrimundo.com.ar/anatomia.gif. Acesso em: 18 abril 2009.

LORENZI, Vicente de. **Reaproveitamento do Resíduo Sólido Proveniente da Estação de Tratamento de Efluentes da Indústria Cerâmica de Grês Porcellanato**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, SC. 2005.

LUCKMANN, Glauco; BERNARDIN, Adriano Michael. **Utilização de Resíduos de Polimento de Porcelanato para Obtenção de Cerâmica Celular**. Curso em Tecnologia em Cerâmica. Centro Universitário de Brusque – Unifebe. Resumo Pesquisa e Iniciação Científica. 2006

MACHADO, V.G. **Determinação do Potencial Tóxico e Genotóxico de Líquido Percolado gerado em Aterramento Sanitário de Resíduos Sólidos Urbanos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 2005.

MAIMON, Dalia. **Passaporte verde: gerência ambiental e competitividade**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 1996.

- MARQUES, Livia N.; MENEZES, Romualdo R.; NEVES, Gelmires A.; SANTANA, Lisiane N. L.; LIRA, Helio L. & FERREIRA, Heber C.. **Re-aproveitamento do resíduo do polimento de porcelanato para utilização em massa cerâmica.** Revista Eletrônica de Matérias e Processos, v. 2.2, p. 34-42. 2007.
- MARINO, L.F.B. **Estudo da expansividade de revestimentos cerâmicos porosos segundo composição mineralógica, pressão de compactação e temperatura de queima.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, SP. 1997.
- MÁS, E. **Qualidade e tecnologia em cerâmica vermelha:** Apostila 1, Diagnóstico das matérias primas e metodologia da extração das matérias-primas. São Paulo: Pólo Produções, 2002.
- MATIAS, W. G. **Etude des mecanismes moleculaire d’action de l’acide okadaïque, une toxine marine diarrhéique, in vivo et in vitro.** 1996. 183p. Tese (Doutorado em Toxicologia Ambiental). Universite de Bordeaux, Bordeaux, França. 1996.
- MATSUMURA-TUNDISI, T. Occurrence of species of the genus *Daphnia* in Brazil. **Hydrobiologia**, v. 112, p. 161-165. 1984.
- MENDES, M.R. **Desenvolvimento de agregados leves a partir de subproduto da mineração de carvão e de lodo de estação de tratamento de efluentes de indústria têxtil.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.
- MENEZES, R. R.; ALMEIDA, R. R.; SANTANA, L. N. L.; FERREIRA, H. S.; NEVES, G. A. & FERREIRA, H. C. **Utilização do resíduo do beneficiamento do caulim na produção de blocos e telhas cerâmicos.** Revista Matéria, v. 12, n. 1, p. 226 – 236, 2007.
- MENEZES, R. R.; NEVES, G. A. & FERREIRA, H. C. **O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6 n.2 Campina Grande. 2002.
- MONFORT, E.; ENRIQUE, J. E. **Economia Energética e Vantagens Meioambientais da Reutilização de Resíduos.** Cerâmica Industrial, v. 1, n. 4/5, p. 14-20, 1996.
- MORAIS, Márcia Rodrigues de. **Reciclagem de Resíduos de Indústria de Placas Cerâmicas: um Estudo de Caso.** Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Matérias) – Universidade de São Paulo/São Carlos, USP/São Carlos. 2002.
- MOREIRA, F.M.S., SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 626p.
- MOTA, S. **Urbanização e Meio Ambiente.** Rio de Janeiro: ABES, 1999. 353p.
- MOTTA, José Francisco Marciano; ZANARDO, Antenor; CABRAL JÚNIOR, Marsis. **As matérias-primas cerâmicas: parte I – o perfil das principais indústrias cerâmicas e seus produtos.** Cerâmica Industrial, São Carlos, v.6, n.2, mar./abr., 2001.

NEVES, Gelmires de Araújo; PATRICIO, S.M.R.; FERREIRA, H.C. & SILVA, M.C. **Utilização de Resíduos da Serragem de Granitos para Confecção de Tijolos Cerâmicos.** In: *Congresso Brasileiro de Cerâmica*, 44^o, matérias primas, 006. São Paulo, 2000. CD-ROM.

NUNES, Wladimir José. **Estudos das Condições Operacionais da Estação de Tratamento de Efluentes da Indústria Cerâmica.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental). Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma. 2005.

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) 207, Earthworm, Acute Toxicity Tests, Guideline for Testing of Chemicals, P.1-9, 1984.

OGA, S.; DE SIQUEIRA, M.E.P.B. Introdução à Toxicologia. In: OGA, S. (org.) **Fundamentos da Toxicologia.** Editora Atheneu. 2^a edição. São Paulo-SP. p.3-12. 2003.

OLIVEIRA, H.A. **Estudo para reaproveitamento do resíduo lama de cal do processo KRAFT de fabricação de celulose e papel em cerâmicas de revestimento.** Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo - SP. 2000.

OLIVEIRA, Lisandra Tamiozzo de. **Incorporação de resíduo de curtume em artefatos cerâmicos - Uma alternativa para redução de passivo ambiental.** Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. Campo Grande. 2008.

OLIVEIRA, Maria Cecília de; MAGANHA, Martha Faria Bernils. **Cerâmica Branca e de Revestimento: Pisos e revestimentos, Isoladores elétricos, Louças sanitárias, Louças de mesa.** Guia técnico ambiental da indústria de cerâmica branca e de revestimento - Série p+l. São Paulo, SP. 2006.

OLIVEIRA, R. **Resíduos Perigosos: a responsabilidade é de quem produz.** Revista Banas Ambiental, São Paulo, n. 09, p. 10-19, dez. 2000.

PELEGRINI, N.N.B.; PATERNIANI, J.E.S.; CARNIATO, J.G.; SILVA, N.B. e PELEGRINI, R.T. **Estudo da sensibilidade de sementes de Euruca Sativa (Rúcula) utilizando substâncias tóxicas para agricultura.** XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola (CONBEA) João Pessoa - PB (2006).

PEREIRA, Sibeli Warmling. **Análise ambiental do processo produtivo de pisos cerâmicos. Aplicação de avaliação do ciclo de vida.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2004.

PORTOBELLO S.A.. **Fábrica de Cerâmica Portobello.** 2007. Disponível em: www.portobello.com.br. Acesso em: 15 outubro 2007.

PROJECTO DAPHNIA. Biologia e Geologia I – ESOJ. **Desvendando a Anatomia da Daphnia.** Disponível em: http://daphnia_biologia_esoj.blogs.sapo.pt/. Acesso em: 08 março 2010.

RAMOS, Aline dos Santos; EGLER, Silvia Gonçalves & CASTILHOS, Zuleica Carmen. **Implantação do Laboratório de Ecotoxicologia Aplicada à Indústria Metalúrgica (LECOMIN) do CETEM.** Anais da I Jornada do Programa de Capacitação Interna – CETEM. 2006.

RAMOS, I.S., ALVES, M.G. & ALEXANDRE, J. **Diagnóstico do pólo cerâmico de Campos dos Goytacazes-RJ,** Cerâmica Industrial, v.11, n.1, pp.28-32, Jan./Fev. 2006.

RAND, G. M. **Fundamentals of aquatic toxicology: effects, environmental fate, and risk assessment.** 2nd edition. North Palm Beach, Florida: Taylor e Francis. 1995. 1125p.

REIS, Jaisson Potrich dos. **Incorporação de resíduos industriais em massa cerâmica usada na fabricação de tijolos.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade Estadual de Santa Catarina. Florianópolis. 2007.

REVISTA MUNDO CERÂMICO. **Ano XII – nº 101, 102, 103, 104.** Publicação Outubro-Dezembro de 2004 e Janeiro-Março de 2005. Disponível em: <http://www.mundoceramico.com.br/>. Acesso em: 21 janeiro 2009.

ROSA, Sérgio Eduardo Silveira da; PEIXOTO, Gabriel Barros Tavares. **O Segmento de Cerâmica para Revestimentos no Brasil.** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 18, p. 221-236, set. 2003.

ROSA, F. G. **Estudo da viabilidade de obtenção de placas cerâmicas para revestimentos a partir de resíduos sólidos industriais e minerais.** . Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2002.

RUPPERT, E. E.; BARNES, R. D. **Zoologia dos Invertebrados.** 6ª Ed. São Paulo: Roca, 1.029p. 1996.

SANTOS, Tiago Renovato dos. **Influência da Adição de Gres Porcelanato no Comportamento Mecânico e Microestrutural em Pastas de Cimento Portland para Cimentação de Poços de Petróleo.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN. 2009.

SCHIAVON, Greice de Almeida; SCHIEDECK, Gustavo; ARAÚJO, Jaciana Marlova Gonçalves, FoNSECA, Roberta de Magalhães da, SCHWENGBER, José Ernani. **Produção de casulos e crescimento de minhocas *Eisenia fetida savigny* em condição de isolamento.** Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil, Caxambu – MG. 2007.

SILVA, Guilherme Jorge Brigolini. **Estudo do Comportamento do Concreto de Cimento Portland Produzido com a Adição do Resíduo de Polimento do Porcelanato.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Universidade Federal de Minas Gerais. 2006.

SILVA, N.I.W. *et al.* **Estudo da Aplicação da Argila e Cinzas de Carvão como Matérias-Primas Cerâmicas.** In: *Congresso Brasileiro de Cerâmica*, 43º, revestimentos cerâmicos, 128. Santa Catarina, 1999. CD-ROM.

SILVA, Odair Vieira da. **Sistemas Produtivos, Desenvolvimento Econômico e Degradação Ambiental**. Revista Científica Eletrônica Turismo Periodicidade Semestral, ano Iii, 5ª Edição, Junho de 2006. Disponível em: <http://www.revista.inf.br/turismo05/artigos/art05.pdf>. Acesso em: 13 maio 2010.

SILVA, Rafael Corrêa da; EGLER, Silvia Gonçalves & CESAR, Ricardo Gonçalves. **Oligoquetas da Espécie *Eisenia Andrei* como Bioindicadores na Avaliação do Potencial Tóxico de Latossolos e Chernossolos Acrescidos de Lodo de Esgoto**. XVI Jornada de Iniciação Científica – CETEM. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ. 2007.

SISINNO, Cristina Lúcia Silveira. **Uso de ensaios ecotoxicológicos com organismos aquáticos e do solo para avaliar a toxicidade de amostras de solos contaminados e resíduos sólidos**. Proposta de projeto de pesquisa da FIOCRUZ, Rio de Janeiro. 2003.

SISINNO, Cristina Lúcia Silveira; BULUS, M. R. M.; RIZZO, A. C. & MOREIRA, J. C.. **Ensaio de Comportamento com Minhocas (*Eisenia fetida*) para Avaliação de Áreas Contaminadas: Resultados Preliminares para Contaminação por Hidrocarbonetos**. SETAC - J. Braz. Soc. Ecotoxicol., v. 1, n. 2, 137-140. 2006.

SOARES, J.M.D. *et al.* **Adição de resíduo de couro na massa para produção de cerâmica vermelha**. In: *Congresso Brasileiro de Cerâmica, 45º*, revestimentos cerâmicos, 26. Santa Catarina, 2001. CD-ROM.

SOUSA, F.J.P. **Estudo e desenvolvimento de alternativas para o aproveitamento de resíduos das indústrias de revestimentos cerâmico**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis-SC. 2003.

SOUZA, Sérgio Alessandro Machado *et al.* **Utilização de sementes de alface e de rúcula como ensaios biológicos para avaliação do efeito citotóxico e alelopático de extratos aquosos de plantas medicinais**. Revista de Biologia e Ciências da Terra, vol. 5 nº. 001. 2005. Disponível em: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=50050101>. Acesso em: 11 dezembro 2009.

TERRA, N. R.; FEIDEN, I. R; CORREA, L. M. **Ação tóxica do sedimento do Rio dos Sinos na sobrevivência e na reprodução de *Daphnia magna* Straus, 1820 (Crustacea)**. In: VI Congresso de Ecologia do Brasil, 2003, Fortaleza. Anais do VI Congresso de Ecologia do Brasil. Fortaleza, 2003, p. 397-399.

VENTER, J.M.; REINECKE, A.J. **The life-cycle of the compost worm *Eisenia foetida* (Oligochaeta)**. South African Journal of Zoology, Africa do Sul, v.23, n.3, p.161-165, 1988.

VICENZI, J. *et al.* **Aproveitamento de um resíduo industrial em uma massa cerâmica para pisos**. In: *Congresso Brasileiro de Cerâmica, 43º*, revestimentos cerâmicos, 290. Santa Catarina, 1999. CD-ROM.

YU, J. K.; FOGEL, M. M. The development of a combined Water Quality Index. **Water Resources Bulletin**, v. 14(5), p. 1239-1250. 1978.

YU, M-H. **Environmental toxicology: biological and health effects of pollutants**. 2a ed. CRC Press LLC. Florida, 2005.

ZAGATTO, P. A. Ecotoxicologia. In: ZAGATTO, P. A.; BERTOLETTI, E. (Org.) **Ecotoxicologia Aquática - princípios e aplicações**. São Carlos: RIMA, 2006.

ZAKRZEWSKI, S. F. **Principles of Environmental Toxicology**, American Chemical Society: Washington, 1994.

ZOONEWS. Site de pesquisa. **Casulos**. Disponível em:
www.minhobox.com.br/.../jm58/casulo004.jpg. Acesso em: 18 abril 2009.

WALKER, C.H.; HOPKINS, S.P.; SIBLY, R.M.; PEAKALL, D.B. **Principles of Ecotoxicology**. Editora Taylor & Francis, 1997.

**APÊNDICE A - FICHA PARA REGISTRO DE INFORMAÇÕES NOS
TESTES CRÔNICOS COM *Daphnia magna***

APÊNCIDE B – DADOS DOS TESTES CRÔNICOS COM *Daphnia magna*

Legenda

Organismo não se reproduziu durante a realização do teste



Organismo morreu antes da finalização do teste



Organismo morreu após o 18º dia de execução do teste



Organismo apresentou alterações morfológicas

**LONGEVIDADE****Todas as amostras**

Sobreviventes após 21 dias				
	Lodo Fresco	Lodo Seco	Corpo de Prova 0%	Corpo de Prova 5%
Controle	10	10	10	10
100%	08	10	0	0
80%	10	10	10	10
64%	10	10	10	10
51,2%	10	10	10	10

CRESCIMENTO**Lixiviado da Torta de Lodo Coletada na Saída do Filtro-prensa**

Amostra: Lixiviado do Lodo Fresco					Lote: 197					Sensibilidade: 0,81 mg/L		
Tamanho dos indivíduos após 21 dias de teste (mm)												
Réplica												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio Padrão
Controle	5	5	4,5	5	5	5	5	5	5	4	4,85	0,337
100%	4	3	3	3,5			3	3,5	3	3	3,25	0,377
80%	3,5	4	3,5	3,5	4	4	4	4	4	3	3,75	0,353
64%	4	4,5	4,5	5	5	4	3,5	4	4	4	4,05	0,284
51,2%	4	4	4	4	5	4,5	4,5	4,5	4	4	4,25	0,353

Lixiviado da Torta de Lodo coletado no Pátio Fabril

Amostra: Lixiviado do Lodo Seco					Lote: 197					Sensibilidade: 0,81 mg/L		
Tamanho dos indivíduos após 21 dias de teste (mm)												
Réplica												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio Padrão
Controle	4	4	4,1	4	4,5	4,1	4	4,1	4,5	4	4,13	0,200
100%	3,5	3	3	3	3	3	2,5	2,8	2,6	3,2	2,96	0,284
80%	3	3,5	3,1	3,5	3,5	4	4,5	3	3	3,1	3,42	0,501
64%	4	3,2	4	4	3,5	3,7	4	4	3,2	4	3,76	0,340
51,2%	4,1	4,5	3,5	4	3,5	4	4	4	3,8	3,8	3,92	0,294

Lixiviado do Corpo de Prova com 0% Resíduo

Amostra: Lixiviado do Tijolo 0% Resíduo					Lote: 197					Sensibilidade: 0,81 mg/L		
Tamanho dos indivíduos após 21 dias de teste (mm)												
Réplica												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio Padrão
Controle	5	5,5	5,5	5	5	5	4,5	4,5	5	5	5	0,333
100%												
80%	3,5	4	4	4	3,5	4	3,5	3,8	4	4	3,83	0,236
64%	4	3,5	3,8	4	4	4	4,5	4,5	4	4,5	4,08	0,329
51,2%	4	4	4,5	3,5	4	4	4	4,5	4	4	4,05	0,284

Lixiviado do Corpo de Prova com 5% Resíduo

Amostra: Lixiviado do Tijolo 5% de Resíduo					Lote: 197					Sensibilidade: 0,81 mg/L		
Tamanho dos indivíduos após 21 dias de teste (mm)												
Réplica												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio Padrão
Controle	5	5,5	5,5	5	5	5	4,5	4,5	5	5	5	0,333
100%												
80%	4	4	4,5	3	3,5	3,5	3	4	4	3,5	3,7	0,483
64%	4	3,5	4,5	3,5	3,5	4	3	5	3	4,5	3,85	0,669
51,2%	4,5	4,5	4	4	3,5	4	4,2	3,8	4,5	4	4,1	0,330

REPRODUÇÃO

Lixiviado da Torta de Lodo Coletada na Saída do Filtro-prensa (Lodo Fresco)

Amostra: Lodo fresco					Lote: 197					Sensibilidade: 0,81		
Somatório do número de filhotes após 21 dias												
Réplica												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio Padrão
Controle	83	82	67	71	72	74	81	59	53	69	71,1	9,792
Posturas	5	4	4	5	5	4	5	4	3	4	4,3	0,675
Média/Postura	16,6	20,5	16,75	14,2	14,4	18,5	16,2	14,75	17,67	17,25	16,68	1,958
100%	30		13	23			13	16	23	26	19,14	6,362
Posturas	3		2	2			2	2	3	2	2,28	0,488
Média/Postura	10		6,5	11,5			6,5	8	7,67	8	8,31	1,834
80%	40	19	22	20	30	22	25	24	29	17	24,8	6,746
Posturas	4	3	2	2	3	2	3	2	3	2	2,6	0,699
Média/Postura	10	6,33	11	10	10	11	8,33	12	5,67	8,5	9,28	2,058
64%	34	30	27	51	22	32	30	29	23	59	33,7	11,963
Posturas	4	3	3	4	3	3	2	3	2	4	3,1	0,738
Média/Postura	8,5	10	9	12,75	7,33	10,67	15	9,67	11,5	14,75	10,92	2,579
51,20%	40	53	46	41	44	59	53	56	46	45	48,3	6,499
Posturas	3	4	3	3	3	4	4	5	4	3	3,6	0,699
Média/Postura	13,33	13,25	15,33	13,67	14,67	14,75	13,25	11,2	11,5	15	13,60	1,411

Lixiviado da Torta de Lodo coletado no Pátio Fabril (Lodo Seco)

Amostra: Lodo seco					Lote: 197					Sensibilidade: 0,81 mg/L		
Somatório do n° de filhotes após 21 dias												
Réplica												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio Padrão
Controle	74	73	71	75	66	91	94	85	70	77	77,6	9,312
Postura	5	4	5	5	4	6	7	6	5	6	5,3	0,949
Média/Postura	14,80	18,25	14,2	15	16,5	15,17	13,43	14,17	14	12,83	14,83	1,567
100%	48	42	43	31	38	33	16	44	37	15	34,7	11,334
Postura	6	5	6	5	6	6	4	5	6	3	5,2	1,033
Média/Postura	8	8,4	7,17	6,2	6,33	5,5	4	8,8	6,17	5	6,56	1,538
80%	59	47	40	42	48	55	6	52	46	64	45,9	15,870
Postura	6	6	5	5	5	6	1	6	6	6	5,2	1,549
Média/Postura	9,83	7,83	8	8,4	9,6	9,17	6	8,67	7,67	10,67	8,58	1,322
64%	66	41	49	68	52	54	53	65	53	46	54,7	8,945
Postura	5	4	6	7	6	5	5	6	5	6	5,5	0,849
Média/Postura	13,2	10,25	8,17	9,71	8,67	10,8	10,6	10,83	10,6	7,67	10,05	1,598
51,20%	64	74	63	63	61	77	50	68	57	47	62,4	9,454
Postura	6	6	5	5	6	7	5	6	5	4	5,5	0,850
Média/Postura	10,67	12,33	12,6	12,6	10,17	11	10	11,33	11,4	11,75	11,38	0,946

Lixiviado do Corpo de Prova com 0% Resíduo

Amostra: Lixiviado Tijolo 0% resíduo							Lote: Cultivo				Sensibilidade: 1,01	
Somatório do n° de filhotes após 21 dias												
Réplica												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio Padrão
Controle	68	75	62	60	61	70	51	67	65	66	64,5	6,519
Posturas	5	6	6	5	5	5	4	6	6	6	5,4	0,699
Média/Postura	13,6	12,5	10,33	12	12,2	14	12,75	11,17	10,83	11	12,04	1,212
100%											-	-
Posturas											-	-
Média/Postura											-	-
80%	31	27	35	38	32	51	33	31	47	38	36,3	7,528
Posturas	4	3	4	4	4	5	4	4	4	4	4	0,471
Média/Postura	7,75	9	8,75	9,5	8	10,2	8,25	7,75	11,75	9,5	9,04	1,257
64%	28	35	41	37	42	36	41	38	37	46	38,1	4,864
Posturas	3	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	0,471
Média/Postura	9,33	7	10,25	9,25	10,5	9	10,25	9,5	9,25	11,5	9,60	1,188
51,20%	23	34	30	46	33	36	32	20	39	28	32,1	7,534
Posturas	3	4	4	3	3	4	4	3	4	3	3,5	0,527
Média/Postura	7,67	8,5	7,5	15,33	11	9	8	6,67	9,75	9,33	9,28	2,466

Lixiviado do Corpo de Prova com 5% Resíduo

Amostra: Lixiviado Tijolo 5% resíduo							Lote: Cultivo				Sensibilidade: 1,01	
Somatório do n° de filhotes após 21 dias												
Réplica												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média	Desvio Padrão
Controle	68	75	62	60	61	70	51	67	65	66	64,5	6,519
Posturas	5	6	6	5	5	5	4	6	6	6	5,4	0,699
Média/Postura	13,6	12,5	10,33	12	12,2	14	12,75	11,17	10,83	11	12,04	1,212
100%											-	-
Posturas											-	-
Média/Postura											-	-
80%	36	35	38	43	41	19	31	0	23	38	30,4	13,116
Posturas	4	4	4	4	4	2	3	0	3	4	3,2	1,316
Média/Postura	9	8,75	9,5	10,75	10,25	9,5	10,33	0	7,67	9,5	9,47	0,934
64%	39	31	32	30	17	43	0	34	48	31	30,5	13,591
Posturas	4	3	3	4	2	4	0	4	4	3	3,1	1,286
Média/Postura	9,75	10,33	10,67	7,5	8,5	10,75	0	8,5	12	10,33	9,82	1,402
51,20%	31	28	24	40	38	37	37	39	32	43	34,9	5,934
Posturas	3	2	3	4	3	4	3	4	3	4	3,3	0,675
Média/Postura	10,33	14	8	10	12,67	9,25	12,33	9,75	10,67	10,75	10,78	1,773

ANEXOS

ANEXO A – RESOLUÇÃO CONSEMA Nº 15

RESOLUÇÃO CONSEMA Nº 15, de 28 de outubro de 2008.

Estabelece critérios para utilização do rejeito sólido industrial denominado “Torta de Polimento” como matéria-prima para uso industrial.

O PRESIDENTE DO CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - CONSEMA, por deliberação da plenária e usando de suas atribuições legais, que lhe são conferidas pelo Art. 2º do Regimento Interno, aprovado pelo Decreto Nº 3.973/02, e considerando:

que *“todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”* (Constituição Federal, art. 225, *caput*);

a obrigação de todos na defesa do meio ambiente, através do tratamento diferenciado de acordo com o impacto ambiental de produtos e seus processos de elaboração, conforme previsto no artigo 170, VI, do texto Constitucional;

a competência legislativa concorrente entre a União e os Estados para regulamentar atividades de geração e reaproveitamento de resíduos, para fins de controle da poluição, conforme previsto no artigo 24, VI, da Carta Magna;

que meio ambiente, segundo o artigo 3º, I, da Lei Federal nº 6.938/81 é *“o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológicas, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas”*;

o Decreto Estadual n.º 14.250/81, art. 20, que estabelece *“é proibido depositar, dispor, descarregar, enterrar, infiltrar, ou acumular no solo resíduos em qualquer estado da matéria, desde que causem degradação da qualidade ambiental”* e art. 21 *“o solo somente poderá ser utilizado para destino final de resíduos de qualquer natureza, desde que sua disposição seja feita de forma adequada, estabelecida em projetos específicos ficando vedada a simples descarga ou depósito, seja em propriedade pública ou particular”*.

os princípios da prevenção, da precaução, do poluidor pagador, da correção na fonte e de integração entre os vários órgãos envolvidos para fins do licenciamento e da fiscalização;

a necessidade de estimular a minimização da geração de resíduos, promovendo a substituição de materiais e de processos por alternativas de menor risco, a redução na fonte e a reciclagem, dentre outras alternativas;

a segregação dos resíduos, no momento e local de sua geração, que permite reduzir o volume de resíduos que necessitam de manejo diferenciado;

as soluções consorciadas, para fins de tratamento e disposição final de resíduos, especialmente indicadas para geradores e municípios;

as ações preventivas que são menos onerosas do que as ações corretivas e minimizam com mais eficácia os danos causados à saúde pública e ao meio ambiente,

RESOLVE:

Art. 1º - Aprovar as definições, as exigências técnicas mínimas e os procedimentos para o licenciamento ambiental, através de autorização ambiental, para a utilização do resíduo sólido industrial denominado “Torta de Polimento” como matéria-prima para uso industrial, de acordo especificações do Anexo.

Art. 2º - Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

ONOFRE SANTO AGOSTINI
Presidente do CONSEMA/SC

Publicação: Diário Oficial – SC Nº 18.488, de 13/11/08 – página 11
Essa cópia não substitui o texto publicado no D.O.

ANEXO

A QUE SE REFERE O ARTIGO 1º DA RESOLUÇÃO CONSEMA Nº, DE dia DE mês DE 2008.

PROCEDIMENTOS PARA A UTILIZAÇÃO DO REJEITO SÓLIDO INDUSTRIAL DENOMINADO “TORTA DE POLIMENTO” COMO MATÉRIA-PRIMA NA PRODUÇÃO DE CERÂMICA VERMELHA, CIMENTO, ARTEFATOS DE CIMENTO

MÊS DE 2008

1 . DEFINIÇÕES BÁSICAS SOBRE A MATÉRIA

1.1. Processo de Polimento: Esse processo inclui as etapas de retífica e polimento das peças cerâmicas, realizando o desgaste das peças com elemento polidor, utilizando pressão e velocidade controladas. O processo tem como finalidade nivelar as arestas das peças, eliminar pequenas imperfeições e proporcionar brilho à superfície das mesmas.

1.2. Resíduo Sólido do Processo de Polimento: Resíduo Sólido da Estação de Tratamento de Efluente do Processo de Polimento, que trata o efluente composto de água e pó cerâmico, provindo do desgaste das peças cerâmicas.

1.3. Deposição inadequada de resíduos: todas as formas de depositar, descarregar, enterrar, infiltrar ou acumular resíduos sólidos, sem medidas que assegurem a efetiva proteção ao meio ambiente e à saúde pública.

1.4. Minimização dos resíduos gerados: a redução, ao menor volume, quantidade e periculosidade possíveis, dos materiais e substâncias, antes de descartá-los no meio ambiente.

1.5. Agente Tóxico: Qualquer substância ou mistura, cuja inalação, ingestão ou absorção cutânea tenha sido cientificamente comprovada como tendo efeito adverso (tóxico, carcinogênico, mutagênico, teratogênico ou ecotoxicológico).

1.6. Toxicidade Aguda: Propriedade potencial que o agente tóxico possui de provocar um efeito adverso grave, ou mesmo morte, em consequência de sua interação com o organismo, após exposição a uma única dose elevada ou a repetidas doses em curto espaço de tempo.

1.7. Reutilização: prática ou técnica na qual os resíduos podem ser usados na forma em que se encontram, sem necessidade de tratamento para alterar as suas características físico-químicas.

2. PROCEDIMENTOS PARA GERENCIAMENTO DO RESÍDUO SÓLIDO DO PROCESSO DE POLIMENTO

Os procedimentos a serem adotados pelas empresas geradoras do Resíduo Sólido do Processo de Polimento e pelas empresas destinatárias destes resíduos obedecerão os termos desta resolução.

3. PROCEDIMENTOS PARA GERENCIAMENTO DO RESÍDUO SÓLIDO DO PROCESSO DE POLIMENTO NAS EMPRESAS GERADORAS

Com o objetivo de desenvolver o correto gerenciamento do resíduo do processo de polimento, as empresas geradoras deverão adotar as seguintes ações:

3.1. O resíduo não poderá ser misturado ou diluído com outros tipos de resíduos ou outros materiais para se enquadrar nas condições descritas neste item.

- 3.2. Ações para minimizar o volume do resíduo, por meio da recuperação do resíduo sólido do processo de polimento, quer na própria área da empresa geradora, quer em outras atividades devidamente licenciadas/autorizadas;
- 3.3. O local de acondicionamento do resíduo deverá ser identificado e delimitado fisicamente (cerca ou parede) e conter um plano de inspeção e manutenção, incluindo o monitoramento visual da integridade física das instalações.
 - 3.3.1. Caso o local de acondicionamento do resíduo não possua as condições estabelecidas no item “3.3”, deverá ser implantado um sistema de drenagem de águas pluviais adequado, garantindo a não contaminação do corpo receptor da drenagem.

4. PROCEDIMENTOS PARA TRANSPORTE DO RESÍDUO SÓLIDO DO PROCESSO DE POLIMENTO

O resíduo do processo de polimento deverá ser transportado da empresa geradora à empresa destinatária através de transportes licenciados para resíduos industriais, conforme Classificação de Resíduo (NBR 10.004).

5. PROCEDIMENTOS DE REUTILIZAÇÃO PELA EMPRESA DESTINATÁRIA

Para a reutilização do resíduo do processo de polimento, a empresa destinatária deverá:

- 5.1. Solicitar a devida autorização para a reutilização do resíduo do processo de polimento junto ao órgão ambiental competente.
- 5.2. O local de acondicionamento do resíduo deverá ser identificado e delimitado fisicamente, possuir chão impermeável e conter um plano de inspeção e manutenção, incluindo o monitoramento visual da integridade física das instalações.
 - 5.2.1. Caso o local de acondicionamento do resíduo não possua as condições estabelecidas no item “5.2”, deverá ser implantado um sistema de drenagem de águas pluviais adequado, garantindo a não contaminação do corpo receptor da drenagem.

6. PROCEDIMENTOS DE LICENCIAMENTO PARA ENVIO E RECEBIMENTO DO RESÍDUO DO PROCESSO DE POLIMENTO

O pedido de licenciamento para envio e recebimento do resíduo do processo de polimento deverá ser apresentado ao órgão ambiental competente acompanhado dos seguintes documentos:

6.1. Pela empresa geradora:

- 6.1.1. Carta de aceitação formal da empresa destinatária.

- 6.1.2. Licença Ambiental de Operação tanto da empresa geradora quanto da empresa destinatária.
- 6.1.3. Licença Ambiental de Operação do transporte.
- 6.1.4. Descrição da forma de acondicionamento do resíduo na empresa geradora e na empresa destinatária;
- 6.1.5. Cópia das informações e ensaios para a classificação e caracterização do resíduo.

6.2. Pela empresa destinatária:

- 6.2.1. Licença Ambiental de Operação tanto da empresa destinatária quanto da empresa geradora.
- 6.2.2. Descrição da forma de acondicionamento do resíduo na empresa geradora e na empresa destinatária.
- 6.2.3. Declaração da capacidade máxima de consumo do resíduo do processo de polimento da empresa.
- 6.2.4. Cópia das informações e ensaios para a classificação e caracterização do resíduo.

7. INFORMAÇÕES E ENSAIOS SOBRE O RESÍDUO

A prestação de informações e ensaios para a classificação e caracterização do resíduo, prevista no artigo anterior, deverá seguir os seguintes parâmetros:

- 7.1. Descrição detalhada do processo de geração do resíduo, contendo o processo de polimento, estação de tratamento de efluente e fluxograma com indicação das operações unitárias.
- 7.2. Laudo de classificação e caracterização em amostra composta de resíduo, conforme norma NBR 10.004, realizando-se a análise do extrato lixiviado, a análise do extrato solubilizado e a amostragem de resíduo de acordo com as normas NBR 10.005, NBR 10.006 e NBR 10.007, respectivamente;
- 7.3. Teste de toxicidade aguda com microcrustáceo *Daphnia Magna*, com amostras compostas, seguindo-se a metodologia NBR 12.713, avaliando o Fator de Diluição (FD), que representa a primeira de uma série de diluições de uma amostra no qual não mais se observa efeitos tóxicos agudos aos organismos-teste.

8. PROCEDIMENTOS PARA AVALIAÇÃO PELO ÓRGÃO AMBIENTAL

Os pedidos para reutilização do resíduo sólido do processo de polimento deverão ser encaminhados ao órgão ambiental competente, que efetuará a sua avaliação, considerando os seguintes critérios:

- 8.1. O resíduo sólido da estação de tratamento de efluente do processo de polimento deverá ser classificado como classe II-A ou II-B, de acordo com a NBR 10.004.
 - 8.2. O resíduo sólido da estação de tratamento de efluentes do processo de polimento deverá apresentar concentrações dos parâmetros no extrato lixiviado e extrato solubilizado menores ou iguais às concentrações constantes da Tabela 01 e Tabela 02, respectivamente, do Anexo I.
 - 8.3. O Fator de Diluição (FD) do teste de toxicidade aguda com microcrustáceo *Daphnia Magna* obtido deverá ser igual ou menor a 08 (oito).
9. Havendo enquadramento do resíduo dentro dos padrões apresentados por esta Resolução, o órgão ambiental autorizará a atividade solicitada dentro de um prazo não superior a 60 (sessenta) dias, contados a partir da entrega do pedido de licenciamento/autorização.

ANEXO I

Tabela 01 - Parâmetros e valores orientadores da análise do extrato lixiviado

EXTRATO LIXIVIADO	
Parâmetro	Valor de Referência (mg/L)
Arsênio	1,0
Bário	70,0
Cádmio	0,5
Chumbo	1,0
Cromo	5,0
Fluoreto	150,0
Mercúrio	0,1
Prata	5,0
Selênio	1,0

Tabela 02 - Parâmetros e valores orientadores da análise do extrato solubilizado

Parâmetro	Valor de Referência (mg/L)
Alumínio	2
Arsênio	0,01
Bário	20
Cádmio (mg)	0,005
Chumbo	0,01
Cianeto	0,07
Cloreto	1200
Cobre	2,0
Cromo	0,05
Fenol	0,01
Ferro	2
Fluoreto (mg)	1,5
Manganês	0,1
Merúrio	0,001
Nitrato	10
Prata	0,05
Selênio	0,01
Sulfato	1000
Surfactantes	0,5
Zinco	5,0

ANEXO B – RELATÓRIO DE ANÁLISE PARA CLASSIFICAÇÃO



RELATÓRIO DE ANÁLISE Nº19118/07.			
Versão: Parcial			REDE METROLOGICA RS
DADOS DO INTERESSADO:			
Interessado:	PORTOBELLO S/A.		
Endereço:	BR 101 KM 163- Centro - Tijucas/SC		
DADOS DA AMOSTRA:			
Material coletado:	Amostra sólida.		
Local de coleta:	Resíduo de Polimento - ETE		
Data de coleta:	04/09/2007.	Data de recebimento:	06/09/2007.
Responsável pela coleta:	Green Lab.		
Observações:	Objetivo: Classificar amostra segundo NBR 10.004/2004.		
Período de Análise:	06/09/2007 à 26/09/2007.	Data da revisão:	27/09/2007.
		Data de emissão do relatório:	26/09/2007.

1. Origem do Resíduo

O resíduo tem origem na Estação de Tratamento de Efluente do Polimento.

2. Descrição do processo de segregação e seus constituintes principais

Na fábrica de Polimento, os revestimentos cerâmicos Porcelanato Técnico, Rústico e Monoporosa recebem polimento e retifica com atrito de abrasivos. O efluente gerado recebe tratamento físico-químico com coagulante policloreto de alumínio e floculante Proestol 2620. Após o tratamento o resíduo sólido é filtroprensado, sendo este o resíduo sólido analisado.

3. Descrição dos critérios adotados na escolha dos parâmetros analisados

As matérias primas utilizadas no processo, não constam dos anexos A e B da NBR 10.004/2004, portanto seguiu-se a pesquisa de:

4. Inflamabilidade

Não produz fogo em condições normais de temperatura e pressão nem sob fricção, absorção de umidade ou por alterações químicas espontâneas.

5. Corrosividade

pH 10% = 5,00

Não corrosivo, pois o pH situa-se acima de 2,0 e abaixo de 12,0.

6. Reatividade

6.1 Não reage de forma violenta com a água e nem forma misturas potencialmente explosivas.

6.2 Não possui em sua constituição íons Cianeto e Sulfeto que ultrapassem as concentrações estabelecidas pela NBR 10.004/2006.

MASSA BRUTA			
Parâmetro	Resultado	VR NBR 10.004	Metodologia
Cianeto (mg CN ⁻ /Kg)	<0,004	250	SM 4500 CN E
Sulfeto (mg s ²⁻ /kg)	0,17	500	Azul de Metileno
Umidade (%)	30,6	-	Gravimétrico

Página 1/3



7. Toxicidade

A análise do extrato Lixiviado, de acordo com NBR 10.005/2004, apresentou o seguinte:

ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO				
Parâmetros	Resultado	V.R. – NBR 10.004 Anexo F	Limite de Detecção	Método
Arsênio (mg/L)	<0,001	1,0	0,001	SM 3500 As
Bário (mg/L)	1,35	70,0	0,008	SM 3500 Ba
Cádmio (mg/L)	<0,0001	0,5	0,0001	SM 3500 Cd
Chumbo (mg/L)	<0,001	1,0	0,001	SM 3500 Pb
Cromo (mg/L)	0,013	5,0	0,001	SM 3500 Cr
Fluoreto (mg/L)	0,14	150	0,05	SM 4500 F - D
Mercurio (mg/L)	<0,0005	0,1	0,0005	SM 3112 B
pH	4,97	-	0,01	NBR 14339:1999
Prata (mg/L)	<0,0001	5,0	0,0001	SM 3500 Ag
Selênio (mg/L)	<0,001	1,0	0,001	SM 3500 Se

De acordo com o ensaio de Lixiviação o resíduo apresentou-se como NÃO TÓXICO.

8. Patogenicidade

Não avaliado.

De acordo com os resultados das avaliações anteriores o resíduo apresentou-se como NÃO PERIGOSO – CLASSE II.

9. Solubilização

Análise do extrato solubilizado segundo NBR 10.006/2004 apresentou o seguinte:

ENSAIO DE SOLUBILIZAÇÃO				
Parâmetros	Resultado	V.R. – NBR 10004 Anexo G	Limite de Detecção	Método
Alumínio (mg/L)	1,05	0,2	0,001	SM 3500 Al
Arsênio (mg/L)	<0,001	0,01	0,001	SM 3500 As
Bário (mg/L)	0,774	0,7	0,008	SM 3500 Ba
Cádmio (mg/L)	<0,0001	0,005	0,0001	SM 3500 Cd
Chumbo (mg/L)	<0,001	0,01	0,001	SM 3500 Pb
Cianeto (mg/L)	<0,004	0,07	0,004	SM 4500 CN E
Cloreto (mg/L)	318	250	0,50	SM 4500 Cl - C
Cobre (mg/L)	0,019	2,0	0,001	SM 3500 Cu
Cromo (mg/L)	0,007	0,05	0,001	SM 3500 Cr
Fenol (mg/L)	<0,01	0,01	0,001	SM 5533 D
Ferro (mg/L)	0,179	0,3	0,005	SM 3500 Fe
Fluoreto (mg/L)	<0,05	1,5	0,05	SM 4500 F - D
Manganês (mg/L)	0,008	0,1	0,003	SM 3500 Mn
Mercurio (mg/L)	<0,0005	0,001	0,0005	SM 3112 B
Nitrato (mg/L)	<0,20	10,0	0,20	Salicilato
pH final	8,70	-	0,01	NBR 14339:1999
Prata (mg/L)	<0,0001	0,05	0,0001	SM 3500 Ag
Selênio (mg/L)	<0,001	0,01	0,001	SM 3500 Se
Sódio (mg/L)	49,2	200	0,005	SM 3500 Na
Sulfato (mg/L)	31,9	250	2,0	SM 4500 SO4 E
Surfactantes (mg/L)	<0,05	0,5	0,05	Colorimétrico
Zinco (mg/L)	0,028	5,0	0,001	SM 3500 Zn






Pelo ensaio de Solubilização os seguintes parâmetros ultrapassaram o Limite Máximo permitido pela Legislação: Alumínio, Bário e Cloreto.

Caracterizando o Resíduo como CLASSE II A – NÃO INERTE.

O Alumínio e o Cloreto que ultrapassaram o Limite Máximo na Solubilização podem ter origem do floculante utilizado (policloreto de alumínio) não oferecendo risco ambiental.


Gracilma Formoso Pellini
Químico – CRQ-V¹ - 05200428

Cadastro na FEPAM – N° 00032/2006 válido até 28/11/2008.

NOTA: Os resultados contidos neste certificado se aplicam tão somente à amostra ensaiada e só podem ser reproduzidos na íntegra.

E.A.A. – Espectrofotometria de Absorção Atômica
n.d.: não detectado
V.R. – Valor de Referência