

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE QUÍMICA E BIOLOGIA - DAQBI
CURSO DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS AMBIENTAIS**

**GISLAINE TITO DOS SANTOS
PRISCILA JULIANA GOULART VIEIRA**

**AVALIAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA DO EXTRATO SOLUBILIZADO DE
TELHAS DE FIBROCIMENTO UTILIZADAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CURITIBA
2018**

**GISLAINE TITO DOS SANTOS
PRISCILA JULIANA GOULART VIEIRA**

**AVALIAÇÃO ECOTOXICOLÓGIA DO EXTRATO SOLUBILIZADO DE
TELHAS DE FIBROCIMENTO UTILIZADAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso Superior em Tecnologia em Processos Ambientais do Departamento Acadêmico de Química e Biologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Wanessa Ramsdorf

**CURITIBA
2018**

**GISLAINE TITO DOS SANTOS
PRISCILA JULIANA GOULART VIEIRA**

**AVALIAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA DO EXTRATO SOLUBILIZADO
DE TELHAS DE FIBROCIMENTO UTILIZADAS NA CONSTRUÇÃO
CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial à obtenção do grau de TECNÓLOGO EM PROCESSOS AMBIENTAIS pelo Departamento Acadêmico de Química e Biologia (DAQBI) do Câmpus Curitiba da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, pela seguinte banca examinadora:

Membro 1 – PROF. DR. FERNANDO HERMES PASSIG
Departamento Acadêmico de Química e Biologia (UTFPR)

Membro 2 – PROF. Me ALESSANDRO FEITOSA MACHADO
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Orientador – PROF. DR^a. WANESSA RAMSDORF
Departamento Acadêmico de Química e Biologia (UTFPR)

Coordenador de Curso – PROF. Me ALESSANDRO FEITOSA MACHADO

Curitiba, 20 de junho de 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus pelo dom da vida e por ter nos proporcionado chegar até aqui. Sem ele, nada disso seria possível.

À nossa família por toda a dedicação e paciência, contribuindo diretamente para que tivéssemos um caminho mais fácil e prazeroso durante o curso.

À Professora Doutora Wanessa Ramsdorf, responsável pela orientação desse trabalho, que apoiou cada etapa da pesquisa e contribuiu com as revisões do conteúdo. Também somos gratas a todos os docentes que nos deram suporte durante o curso.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, por nos proporcionar um ambiente criativo e amigável para os estudos. Somos gratas à cada membro do corpo docente, à direção e a administração dessa instituição de ensino.

RESUMO

SANTOS, Gislaine Tito; VIEIRA, Priscila Juliana Goulart. **Avaliação ecotoxicológica do extrato solubilizado de telhas de fibrocimento utilizadas na construção civil**. 2018.45p. (Trabalho de conclusão de curso). Tecnologia em Processos Ambientais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

A utilização de telhas de fibrocimento na cobertura de telhados e seu posterior descarte podem causar diversos problemas socioambientais como, por exemplo, a poluição do ar, saúde da população, contaminação dos solos e da água. No Brasil existem legislações específicas para o gerenciamento de resíduos da construção civil, que visam amenizar os impactos decorrentes pelo descarte. O objetivo principal do presente trabalho foi avaliar a ecotoxicidade, em *Daphnia magna*, provocada pela possível solubilização de compostos químicos presentes em telhas de fibrocimento. Para isso, foram adquiridas em lojas de construção civil, quatro telhas contendo fibra mineral e fibra sintética de três fabricantes distintos, sendo duas telhas compostas por fibra sintética (amostra 1 e amostra 2), uma contendo fibra mineral (amostra 3) e uma contendo fibra mineral e pigmentação (amostra 4). Os extratos solubilizados foram obtidos após redução do tamanho das telhas com martelo/mãos, secagem e moagem até granulometria de 9,5mm, conforme NBR 10.006 (2004). Os ensaios de ecotoxicidade aguda com *Daphnia magna* foram realizados de acordo com a norma da NBR 12.713 (2016) e os resultados expressos em Fator de Toxicidade (FT), sendo que quanto menor a % do FT, maior é a toxicidade. Foram realizados quatro ensaios para cada amostra, sendo que o ensaio 01 foi realizado com o extrato fresco e os demais foram realizados com o extrato após 10, 15 e 30 dias de obtenção. Quando comparadas as amostras 02 (fibra sintética) e 04 (fibra mineral e pigmentação), FT 57% e 97% respectivamente, ambas do mesmo fabricante, observou-se maior toxicidade na amostra 02. Quando comparadas somente amostras contendo fibra mineral (amostras 03 e 04, com FT 63% e 97%, respectivamente) apenas a amostra 03 apresentou ecotoxicidade. Ao comparar a ecotoxicidade das amostras 01 e 02, ambas com fibra sintética (FT 100% e 57% respectivamente), verificou-se que somente a amostra 02 apresentou ecotoxicidade. Deste modo, dois extratos solubilizados foram tóxicos para o organismo aquático *D. magna*, sendo uma amostra contendo fibra sintética (amostra 02, FT 57%) e uma amostra contendo fibra mineral (amostra 03, FT 63%) e dois extratos solubilizados não foram tóxicos para o microcrustáceo, sendo uma amostra contendo fibra sintética (amostra 01, FT 100%) e uma contendo fibra mineral e pigmentação (amostra 04, FT 97%). Não foi observada diferença nos valores de FT observados nos testes ecotoxicológicos entre as amostras a fresco e refrigerados. Esses dados requerem análises ecotoxicológicas complementares, bem como a necessidade de estudos, pelos fabricantes, pela busca de processos produtivos e alternativas de matérias-primas menos tóxicas e a conscientização da população sobre os efeitos tóxicos causados pelo uso e descarte inapropriado de telhas de fibrocimento.

Palavras-Chave: Bioindicador. Fator de Toxicidade. Fibra Sintética. Fibra Mineral.

ABSTRACT

SANTOS, Gislaine Tito; VIEIRA, Priscila Juliana Goulart. **Ecotoxicological evaluation of the solubilized extract of asbestos cement tiles used in civil construction**. 2018. 45p. (Course Completion Work). Technology in Environmental Processes, Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2018.

The use of asbestos cement roofing roof tiles and their subsequent disposal can cause various social and environmental problems, such as air pollution, population health, soil and water contamination. In Brazil there are specific legislation for the management of construction waste, aimed at mitigating the impacts arising from disposal. The main objective of the present work was to evaluate the ecotoxicity, in *Daphnia magna*, caused by the possible solubilization of chemical compounds present in asbestos cement tiles. For this, four tiles containing mineral fiber and synthetic fiber from three different manufacturers were purchased from construction shops, two of which were composed of synthetic fiber (sample 1 and sample 2), one containing mineral fiber (sample 3) and one containing mineral fiber and pigmentation (sample 4). The solubilized extracts were obtained after reducing the size of the tiles with hammer / hands, drying and grinding to granulometry of 9.5mm, according to NBR 10.006 (2004). The acute ecotoxicity assays with *Daphnia magna* were performed according to the norm of NBR 12.713 (2016) and the results expressed in Toxicity Factor (FT), the lower the FT, the higher the toxicity. Four trials were performed for each sample, and the 01 test was performed with the fresh extract and the others were performed with the extract after 10, 15 and 30 days of obtaining. When comparing samples 02 (synthetic fiber) and 04 (mineral fiber and pigmentation), FT 57% and 97% respectively, both from the same manufacturer, greater toxicity was observed in sample 02. When compared only samples containing mineral fiber (samples 03 and 04, with FT 63% and 97%, respectively) only sample 03 presented ecotoxicity. When comparing the ecotoxicity of samples 01 and 02, both with synthetic fiber (FT 100% and 57% respectively), it was verified that only sample 02 showed ecotoxicity. Thus, two solubilized extracts were toxic to the aquatic organism *D. magna*, a sample containing synthetic fiber (sample 02, FT 57%) and a sample containing mineral fiber (sample 03, FT 63%) and two solubilized extracts were not (sample 01, FT 100%) and one containing mineral fiber and pigmentation (sample 04, FT 97%). No difference was observed in the FT values observed in the ecotoxicological tests between the fresh and refrigerated samples. These data require complementary ecotoxicological analyzes, as well as the need for studies by manufacturers to search for less toxic raw materials and production alternatives and to raise public awareness of the toxic effects caused by the inappropriate use and disposal of asbestos cement tiles.

Keywords: Bioindicator. Toxicity Factor. Synthetic Fiber. Mineral Fiber.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - SEQUÊNCIA METODOLÓGICA: FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DA PESQUISA.	22
FIGURA 2 - IDENTIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS DE TELHAS DE FIBROCIMENTOS EMPREGADAS	23
FIGURA 3 - FRAGMENTOS DE TELHAS APÓS QUEBRA COM MARTELO / MÃOS.	24
FIGURA 4 - LIQUIDIFICADOR INDUSTRIAL.	25
FIGURA 5 - AMOSTRA APÓS MOAGEM.	25
FIGURA 6 - AMOSTRAS APÓS REPOUSO DE 07 DIAS.	26
FIGURA 7 - SEQUÊNCIA DE FRACIONAMENTO DAS AMOSTRAS.	ERRO!
INDICADOR NÃO DEFINIDO.	
FIGURA 8 - FRACIONAMENTO DAS AMOSTRAS EM GARRAFAS PLÁSTICAS APÓS FILTRAÇÃO.....	29
FIGURA 9 - ENVOLVIMENTO DAS AMOSTRAS COM PAPEL ALUMÍNIO.....	30
FIGURA 10 - EXEMPLO DE FRACIONAMENTO (TRIPLICATA) DA SOLUÇÃO E DAS DAPHNIAS MAGNA.	32
FIGURA 11 - ASPECTO DO SOBRENADANTE DAS AMOSTRAS ANTES DA DECANTAÇÃO. A) AMOSTRA 01 E B) AMOSTRA 02.	36
FIGURA 12 - ASPECTO DO SOBRENADANTE DAS AMOSTRAS 03 E 04.	37

LISTA DE TABELAS

QUADRO 1 - IDENTIFICAÇÃO DAS TELHAS: FABRICANTE, FIBRA EMPREGADA E PRESENÇA DE PIGMENTAÇÃO.....	21
QUADRO 2 - CARACTERÍSTICAS DAS TELHAS: ESPESSURA, DIMENSÕES E DATA FABRICAÇÃO.....	21
QUADRO 3 – ETAPAS NO PREPARO DAS AMOSTRAS.....	23
QUADRO 4 - TEOR DE UMIDADE DAS TELHAS ANTES DA MOAGEM.....	24
QUADRO 5 – SUB-ETAPAS PARA OBTENÇÃO DO EXTRATO SOLUBILIZADO...	26
QUADRO 6 - PH INICIAL E FINAL DOS EXTRATOS SOLUBILIZADOS.....	34
QUADRO 8 – NÚMERO DE ORGANISMOS-TESTE IMÓVEIS (SOMA DA TRIPLICATA): AMOSTRA 02.....	38
QUADRO 9 - NÚMERO DE ORGANISMOS-TESTE IMÓVEIS (SOMA DA TRIPLICATA): AMOSTRA 04.....	38
QUADRO 10 - NÚMERO DE ORGANISMOS-TESTE IMÓVEIS (SOMA DA TRIPLICATA): AMOSTRA 01.....	39
QUADRO 11 - NÚMERO DE ORGANISMOS-TESTE IMÓVEIS (SOMA DA TRIPLICATA): AMOSTRA 03.....	39
QUADRO 12 - FATOR DE TOXICIDADE (FT) DAS AMOSTRAS.....	39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	11
2.1. OBJETIVO GERAL	11
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
3.1. RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	12
3.2. TELHAS DE FIBROCIMENTO.....	14
3.3. SOLUBILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	15
3.4. CONTAMINAÇÃO DOS CORPOS HÍDRICOS.....	16
3.5. ECOTOXICOLOGIA	17
3.6. ECOTOXICOLOGIA AQUÁTICA	18
3.7. CONTAMINAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA DOS CORPOS HÍDRICOS PELO RESÍDUO SOLUBILIZADO	19
4. MATERIAIS E MÉTODOS	21
4.1. PREPARO DAS AMOSTRAS	23
4.2. EXTRATO SOLUBILIZADO	26
4.3. CULTIVO DE <i>DAPHNIA MAGNA</i>	30
4.4. ENSAIO DE SENSIBILIDADE	31
4.5. ANÁLISES ECOTOXICOLÓGICAS	33
4.5.1 Análises Ecotoxicológicas com o Extrato Solubilizado	34
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
6. CONCLUSÃO	40
REFERÊNCIAS	40
ANEXOS	45

1. INTRODUÇÃO

Questões socioambientais vêm ganhando relevância nos últimos anos, principalmente pelas Conferências internacionais. Nestas reuniões são discutidos os impactos do desenvolvimento nos ecossistemas e na saúde da população (GOUVEIA, 2012). Estes impactos podem ser associados aos resíduos gerados pelas ações humanas, visto que todo e qualquer processo gera resíduos, podendo ser este mais ou menos poluente e/ou contaminador (PEREIRA et al., 2013).

Os resíduos sólidos são classificados em dois grupos: Perigosos e Não Perigosos, conforme NBR 10.004 (2004). Os resíduos perigosos são assim classificados por apresentarem características que envolvem inflamabilidade, corrosividade, reatividade, patogenicidade e outros. Dentre os vários resíduos gerados, a Resolução CONAMA 307 (2002) considera que os resíduos da construção civil (RCC) apresentam um significativo percentual dos resíduos sólidos gerados nas áreas urbanas. Apesar de regidos pelas Resoluções do CONAMA que enfatizam o processo de “Não geração”, estima-se uma geração *per capita* de 500kg/hab/ano de resíduos de construção civil (SCREMIN, 2007).

Para Frej (2009), a construção civil apresenta grande importância socioeconômica e é estratégica para o desenvolvimento do país. É uma área bastante dinâmica e sua extensão abrange desde empresas de grande porte a usuários com menores condições financeiras, ambos em atividades que podem envolver industrialização, construção, reforma e/ou demolição. Neste ciclo industrialização-consumo, são gerados diversos resíduos como as telhas de fibrocimento.

No Brasil, são insuficientes os estudos que revelem os possíveis danos ambientais e na saúde da população ambientalmente exposta, decorrente da utilização de fibras naturais e sintéticas e do passivo ambiental gerado pela utilização destas (NOVELLO, 2012). A insuficiência de estudos no Brasil também é apontada em um parecer técnico elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente (2004), que relata não existir na literatura médica mundial nenhum estudo científico sério que comprove, seja do ponto de vista clínico, estatístico ou epidemiológico, qualquer risco à saúde pública que possa ser causado por exposições domésticas,

ambientais ou ocupacionais aos artefatos que contenham fibras em sua composição.

A Ecotoxicologia é “a ciência que estuda os efeitos das substâncias naturais ou sintéticas 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 interligado” (ZAGATTO; BERTOLETTI, 2008).

Por meio dos testes de avaliação da toxicidade, indica-se as concentrações e o tempo em que o agente químico é possivelmente prejudicial para determinado organismo. Os testes de toxicidade usados para avaliar compostos químicos, comumente têm sido realizados com variedades de espécies aquáticas que representam diferentes níveis tróficos, como os mais diversos grupos de invertebrados e peixes. Dentro de cada grupo taxonômico, são selecionados os organismos mais sensíveis (ARAUCO, 2002).

A escolha de organismos característicos do ambiente aquático é muito significativa na avaliação de toxicidade de determinado poluente. Normalmente empregam-se organismos de níveis tróficos diferentes, considerando que estes podem ter sensibilidades distintas (ZAGATTO; BERTOLETTI, 2008).

Sendo assim, a Ecotoxicologia através do monitoramento de toxicidade, deve ser reconhecida como uso metódico de respostas biológicas, com o intuito de analisar mudanças ambientais. Atualmente *Daphnia magna* é um dos organismos zooplancctônicos mais empregados em testes toxicológicos em diversos países e reage sensivelmente em frente a uma vasta gama de agentes tóxicos (ALVES; SILVANO, 2006).

Diante tal cenário, este trabalho visa analisar os possíveis impactos ecotoxicológicos, devido à possibilidade de solubilização de componentes contidos em telhas de fibrocimento, no organismo aquático bioindicador *Daphnia magna*.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a ecotoxicidade aguda do extrato solubilizado de telhas de fibrocimento em *Daphnia magna*.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Monitorar o cultivo de *Daphnia magna*, confeccionar carta-controle e determinar as concentrações teste;
2. Avaliar a ecotoxicidade aguda do extrato solubilizado de telhas de fibrocimento contendo fibra sintética em *Daphnia magna*;
3. Avaliar a ecotoxicidade aguda do extrato solubilizado de telhas de fibrocimento contendo fibra mineral (amianto) em *Daphnia magna*;
4. Avaliar a ecotoxicidade aguda do extrato solubilizado de telhas de fibrocimento contendo fibra mineral (amianto) mais pigmentação em *Daphnia magna*;
5. Realizar o comparativo de toxicidade entre as amostras analisadas.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Os avanços tecnológicos trazem à população melhores condições e um aumento na expectativa de vida. Este cenário desencadeou na construção civil uma constante expansão na economia brasileira. É uma atividade que representa grande importância socioeconômica e estratégica para o desenvolvimento do país. É uma área bastante dinâmica e a sua extensão abrange desde empresas de grande porte a usuários com baixas condições financeiras, ambos em atividades que podem envolver industrialização, construção, reparos, reforma e/ou demolição (SCREMIN, 2007).

Para Schwengber (2015), a construção civil representa uma parcela significativa no produto interno bruto brasileiro (PIB). A expansão deste setor, dentre outros, também pode ser associada aos programas governamentais, o qual se destaca o Programa Minha Casa Minha Vida. Iniciado no ano de 2009, o programa tem como objetivo o financiamento de casas populares, com a construção das mesmas realizadas através de parcerias e/ou empresas particulares. Paralelo a este programa, também houve incentivos em relação a reformas de casas próprias, como o Construcard, sendo ambos os programas vigentes até a presente data.

As facilidades de crédito associadas à necessidade da população pela busca de melhores condições intensificaram as construções e reformas, de tal modo que houve uma momentânea escassez de mão de obra, independente da qualificação. Para Paiva e Salgado (2013), as atividades envolvendo a construção civil, independentemente da situação econômica do País, são ocupadas por pessoas com baixos níveis de escolaridade e qualificação técnica, o que pode acarretar em perda de tempo, devido à necessidade de retrabalhos e, conseqüentemente, perdas de materiais e geração de resíduos.

Para Scremin (2007), estima-se que são gerados 500kg/hab/ano de resíduos de construção civil, sendo estes muitas vezes dispostos de forma inadequada. Os volumes gerados podem ser associados à necessidade de ampliação, modificação,

reforma e demolição. Os Resíduos da construção civil são regidos pela Resolução CONAMA 307 (2002), que os classifica como:

Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassas, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

A Resolução CONAMA 307 (2002) também apresenta uma classificação desses resíduos em quatro grupos, sendo eles:

- ✓ Classe A: Resíduos reutilizáveis ou recicláveis na forma de agregados.
- ✓ Classe B: Resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso.
- ✓ Classe C: Resíduos para as quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação.
- ✓ Classe D: Resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

No Brasil, os resíduos da construção civil (RCC) correspondem de 51 a 70% da massa dos resíduos sólidos urbanos (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2012). Esse grande volume, quando administrado de forma incorreta, afeta a qualidade da vida urbana, agrava os serviços municipais de limpeza pública, contribuindo para o aumento da desigualdade social (TRIGO et al., 2016).

Segundo Nagalli (2014), o gerenciamento apropriado de resíduos durante as atividades de execução de uma obra ou reforma se fundamenta em diretrizes e estratégias que visam alcançar a forma mais viável de aproveitamento dos

materiais, baseando-se na hierarquia de Não geração, Minimização, Reutilização, Reciclagem e o Descarte adequado dos resíduos da construção civil, respectivamente.

3.2. TELHAS DE FIBROCIMENTO

As telhas de fibrocimento são amplamente utilizadas na cobertura de edificações comerciais, industriais, rurais e moradias populares, devido principalmente pelo seu baixo custo.

Conforme Oliveira (2010), para produção são utilizadas as seguintes matérias-primas, em proporções de variam entre os fabricantes:

- Cimento;
- Fibras minerais (amianto e celulose) ou
- Fibras sintéticas (fibra de vidro);
- Água.

Segundo Artigas (2013), as fibras de polivinil-álcool (PVA), polipropileno (PP) e poliacrilonitrila (PAN) também podem ser utilizadas na produção de telhas.

As alternativas quanto ao tipo de fibra utilizadas na produção das telhas estão relacionadas à proibição de utilização da fibra mineral amianto em alguns estados Brasileiros. Esta proibição esta relacionada ao potencial que as fibras de amianto possuem, através da inalação, de desenvolvimento de câncer de pulmão e derrame pleural nos seres humanos (SZILASSY, 2007).

Conforme Mendes (2001), o amianto é dividido em 2 (dois) grupos de minerais, sendo o amianto do tipo anfibólio proibido mundialmente. No Brasil, a lei 9055/95, instituída pelo Decreto 2350/97 e pela Portaria 3214/78 – NR 15 – Anexo 12, regulamenta o uso, a fabricação, o comércio e o transporte do amianto. A regulamentação prevê um uso responsável do amianto de crisotila e proíbe o uso dos outros tipos.

Conforme Rezende (2013), em 2013 a produção de amianto no Brasil foi de 290.825 toneladas de fibras do tipo crisotila, o que correspondeu a 15,05% da produção mundial, sendo 99% da produção destinadas a artefatos de fibrocimento,

0,05% para produtos de cloro/álcalis e 0,95% para fabricação de peças para freios. Em relação ao consumo, 55,8% foi interno, sendo os estados do Paraná, Goiás, São Paulo, Santa Catarina e Rio de Janeiro, os maiores consumidores.

3.3. SOLUBILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A classificação dos resíduos sólidos é realizada através da identificação do processo ou atividade com que foram originados, de seus constituintes e características e a comparação destes constituintes com parâmetros de resíduos e substâncias, listados segundo a Norma Brasileira NBR 10.004 (2004) da ABNT que se refere à classificação de Resíduos Sólidos.

Define-se por resíduos sólidos, resíduos em estados físico, sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem doméstica, industrial, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Incluem-se nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água (NBR 10.004, 2004).

Integrando as Normas Complementares, a NBR 10.006 (2004) determina as circunstâncias necessárias para a solubilização de resíduos determinando sua classificação. Na solubilização ocorre a separação de certas substâncias contidas nos resíduos por meio de dissolução no meio extrator e quando no extrato solubilizado são detectados teores de material poluente em concentração superior aos padrões estabelecidos. A Norma 10.006 (2004) visa diferenciar os resíduos classificados na NBR 10.004 como classe II A - não inertes – e classe II B – inertes.

Quando um soluto, tratado ou não, é colocado em contato com um solvente, água, por exemplo, parte de seus componentes são dissolvidos. Este processo é chamado de solubilização. Solubilização de uma substância química resulta da interação entre o que se deseja solubilizar e a substância que a dissolve, e pode ser definida como a quantidade de soluto que dissolve em uma determinada quantidade de solvente, em condições de equilíbrio (MARTINS et al., 2013).

Os ensaios de toxicidade apresentam um papel importante na caracterização de resíduos, especificamente em relação à avaliação de seus impactos ambientais reais e potenciais. Eles são utilizados para estimar a estabilidade química dos

resíduos quando em contato com soluções aquosas, permitindo assim verificar o grau de mobilização ou de disponibilidade dos constituintes (CAUDURO, 2003).

A normativa brasileira que apresenta os métodos adequados para o procedimento de solubilidade de resíduos sólidos é a NBR 10.006 (2004) que se refere especificamente ao procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Essa norma determina a capacidade do soluto em transferir substâncias orgânicas e inorgânicas presentes no resíduo sólido, por meio de dissolução no meio extrator. Esta norma também fixa os requisitos exigíveis para a obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos, visando diferenciar os resíduos classificados pela ABNT NBR 10.004 como classe I – perigosos - e classe II – não perigosos.

3.4. CONTAMINAÇÃO DOS CORPOS HÍDRICOS

Para Sottoriva et al. (2011), as poluições são caracterizadas como alterações indesejáveis no meio ambiente que podem causar danos ou prejuízos aos seres humanos e ao próprio ambiente. Dentre as várias formas de geração de poluição, a contaminação de corpos hídricos pode ser associada à solubilização dos resíduos da construção civil.

Andrade et al. (2017), após análises preliminares do efeito do clima em telhas de fibrocimento, concluíram que as telhas são fontes potenciais para contaminação por fibras naturais. Para Sottoriva et al. (2011), as gotas de chuvas causam pequenas erosões nas telhas de fibrocimento que desagregam sedimentos, metais e minerais que são arrastados para os corpos hídricos devido ao escoamento superficial da água, acarretando na contaminação dos rios. Entretanto, para Chagas et al. (2008), a eventual liberação de fibras naturais, a partir de resíduos de fibrocimento depositados no solo, não representa risco para o lençol freático.

Córdoba (2014) relata que são limitados os estudos nacionais sobre solubilidade de resíduos da construção civil, quando comparado com os resíduos sólidos urbanos.

3.5. ECOTOXICOLOGIA

Ecotoxicologia pode ser definida como a interação das áreas de ecologia e toxicologia, sendo a Ecologia o estudo da interação dos seres vivos entre si e com o meio ambiente em que vivem e a Toxicologia a ciência que procura entender os tipos de efeitos causados por substâncias químicas, bioquímicas e os processos biológicos responsáveis por tais efeitos, levando em conta a sensibilidade de diferentes tipos de organismos expostos a substâncias químicas e as relativas toxicidades de diferentes substâncias. O objetivo da ecotoxicologia seria então entender e presumir os efeitos tóxicos de agentes químicos e físicos sobre os organismos de ecossistemas naturais (CHAPMAN, 2002).

Testes de toxicidade são ensaios realizados em laboratórios, sob condições específicas e controladas, utilizados para determinar a toxicidade de substâncias, efluentes industriais e amostras ambientais (águas ou sedimentos). Nesses ensaios, organismos-testes são expostos a diferentes concentrações de amostras e os efeitos tóxicos produzidos sobre eles são observados e quantificados. Enquanto as análises químicas identificam e quantificam as concentrações das substâncias tóxicas, os testes de toxicidade avaliam o efeito dessas substâncias sobre sistemas biológicos, fazendo com que ambos se complementem (COSTA et al., 2008).

Para o estudo da ecotoxicologia, utilizam-se bioensaios que permitem analisar os efeitos tóxicos de amostras e/ou contaminantes em organismos vivos. A exposição de organismos aos agentes tóxicos geralmente acontece por via hídrica. A seleção de organismos do ambiente aquático é relevante na avaliação de toxicidade de determinado poluente (ZAGATTO; BERTOLETTI, 2008).

Um teste de toxicidade aguda determina uma resposta severa e rápida dos organismos aquáticos a um estímulo que se revela, em geral, em um intervalo de 0 a 96 horas. Geralmente, o efeito constatado é a letalidade ou outra manifestação do organismo que a preceda, como o estado de imobilidade em alguns microcrustáceos (CESAR et al., 1997).

Para classificar os efeitos agudos dos agentes tóxicos em testes de toxicidade, usa-se geralmente a concentração efetiva CE_{50} , que causa mortalidade ou imobilidade a 50% dos organismos-teste. As formas de expressão dos resultados permitem calcular matematicamente concentrações intermediárias que equivalem

ao efeito sobre 50% da população exposta. Quanto mais baixo for este valor, maior será a toxicidade da amostra (AREZON; NETO; BERGER, 2011). Então, a exposição a uma elevada concentração de agentes tóxicos, mesmo que por breve período de tempo, pode ocasionar efeitos deletérios aos organismos aquáticos pertencentes a distintos níveis tróficos, embora geralmente, estes acontecimentos sejam descritos como mortalidade de peixes (CESAR et al., 1997).

Outra maneira de expressar os dados de toxicidade é através do Fator de Toxicidade (FT). O FT corresponde a quantas vezes o corpo receptor necessitaria diluir o efluente para que ele não seja mais tóxico para os organismos. Exemplificando, um efluente com um $FT = 14$, se ao chegar ao corpo receptor, não for diluído mais de 14 vezes, poderá causar mortalidade aos organismos ali existentes. Já um efluente apresentando $FT = 1$ (ou 100%) não apresenta toxicidade aguda em sua forma integral, mesmo que não seja diluído pelo corpo receptor (AREZON; NETO; BERGER, 2011).

3.6. ECOTOXICOLOGIA AQUÁTICA

A ecotoxicologia aquática busca avaliar o efeito de substâncias químicas tóxicas sobre organismos representantes do ecossistema aquático. Os efeitos tóxicos manifestam-se nos diferentes níveis de organização, desde estruturas celulares até indivíduos, populações e comunidades. A ecotoxicologia aquática abrange o transporte, a distribuição, a transformação e o destino final dos contaminantes no meio aquático. Os testes de toxicidade aquática são amplamente usados, pois os ecossistemas aquáticos compõem os principais receptores de contaminantes, sejam estes depositados diretamente nos corpos d'água por meio das descargas de efluentes, emitidos no ar ou depositados nos solos (COSTA et al., 2008).

Os testes de toxicidade não possibilitam alcançar uma concreta resposta sobre o risco que uma determinada amostra apresenta para a população humana, pois é muito incerto definir para os seres humanos os resultados de toxicidade obtidos para os organismos em laboratório e até mesmo correlacionar os resultados de toxicidade entre organismos de espécies distintas (COSTA et al., 2008).

A *Daphnia magna* é um microcrustáceo de água doce, que mede entre 5 e 6 mm e alimenta-se especialmente de algas unicelulares. Em condições ambientais convenientes, reproduz-se por partenogênese, gerando apenas fêmeas. É também uma espécie que se encontra em ambientes eutróficos. Apresenta tempo de geração curto, tornando simples o seu cultivo (ALVES; SILVANO, 2006).

Os bioensaios com organismos aquáticos em condições de laboratório possibilitam a verificação dos efeitos dos compostos orgânicos tóxicos sobre a biota e a estimativa dos riscos de intoxicação ambiental. Os bioensaios, aplicados ao controle da poluição da água, permitem avaliar os efeitos dos principais poluentes ao meio ambiente, empregando organismos aquáticos, pertencentes a diferentes níveis tróficos dos ecossistemas (ARAUCO, 2002).

3.7. CONTAMINAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA DOS CORPOS HÍDRICOS PELO RESÍDUO SOLUBILIZADO

Entre as diversas formas de poluição ambiental está a poluição por resíduos sólidos, inclusive os provenientes da construção civil, que apresentam graves problemas como a deterioração das condições ambientais dos recursos hídricos.

Segundo a Norma Brasileira NBR 10.004 (2004), Toxicidade é a propriedade potencial que o agente tóxico possui de provocar, em maior ou menor grau, um efeito adverso em consequência de sua interação com o organismo (NBR 10.004, 2004).

Durante muitos anos, por falta de fiscalização e informação, resíduos potencialmente poluidores foram dispostos incorretamente diretamente no solo, em lixões a céu aberto, valas ou cavas, sem nenhuma preparação anterior (acondicionamento, o manuseio, a coleta, o transporte, o tratamento e a disposição final), gerando incontáveis contaminações de solo e, conseqüentemente, da água subterrânea (RODRIGUES, 2005).

Os contaminantes, ao serem depositados, atingem a superfície do solo, infiltram-se lentamente pelo meio poroso e chegam às águas do lençol freático. O solo contaminado, por permitir uma lenta contaminação para as águas subterrâneas, passa a se constituir numa fonte de contaminação, armazenando fase

residual de produto em seus poros. A água subterrânea contaminada, que migra por gravidade pelo aquífero, forma plumas de contaminação (SÃO PAULO - ABAS, 2017).

Para que o resíduo tenha disposição final, é importante que o gerador conceda informações a respeito das características dos contaminantes presentes, mas estas referências não devem ser o único parâmetro considerado para que seja possível optar pelo tratamento final adequado do resíduo (RODRIGUES, 2005).

Uma das principais formas de acesso de agentes toxicantes ao ambiente aquático é por meio do resíduo sólido industrial. Não se pode desconsiderar o controle de poluentes tóxicos que afetam adversamente o meio ambiente, devido à alta variedade de novas substâncias que estão sendo introduzidas no mesmo (RODRIGUES; PAWLOWSKY, 2007).

Assim, ocorre uma maior complexidade quando se deseja avaliar os danos que uma substância específica pode causar aos organismos e identificar, com precisão, qual agente tóxico é o responsável pelo descontrole existente. A avaliação da toxicidade realizada através de bioensaios com organismos bioindicadores apresenta um parâmetro total dos teores de diversos poluentes tóxicos (RODRIGUES, 2005).

A maior parte dos agentes químicos, especialmente os perigosos, é acumulativa no meio aquático, conseqüentemente, a biota aquática pode estar sujeita aos efeitos dessas substâncias por longos períodos de tempo (RODRIGUES; PAWLOWSKY, 2007).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos e as análises foram realizados nos Laboratórios de Engenharia Civil, Química Analítica e Ecotoxicologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Campus Curitiba, Sede Ecoville, entre os meses de agosto e dezembro de 2017.

Os ensaios foram realizados em telhas de fibrocimento, cuja identificação, fabricante e tipo de fibras utilizadas estão resumidos no quadro 1.

Quadro 1 - Identificação das telhas: Fabricante, Fibra empregada e presença de Pigmentação

Identificação	Fabricante	Tipo de fibra utilizada	Pigmentação
Amostra 01	Fabricante B	Fibra sintética	Sem pigmentação
Amostra 02	Fabricante E	Fibra sintética	Sem pigmentação
Amostra 03	Fabricante M	Fibra mineral	Sem pigmentação
Amostra 04	Fabricante E	Fibra mineral	Com pigmentação

Fonte: O Autor (2018).

As amostras foram adquiridas em lojas de construção civil situadas na região de Curitiba. Cada amostra foi composta por 01 telha de fibrocimento, sendo as características das telhas destacadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Características das telhas: Espessura, Dimensões e Data Fabricação

Identificação	Espessura	Dimensões	Peso	Data Fabricação
Amostra 01	4mm	0,50 X 1,22	5,180g	04/10/2016
Amostra 02	4mm	0,50 X 1,22	5,660g	17/02/2017
Amostra 03	4mm	0,50 X 1,22	5,400g	21/02/2017
Amostra 04	5mm	0,50 X 1,22	6,880g	27/12/2016

Fonte: O Autor (2018).

A metodologia adotada, para a obtenção de resultados analíticos, foi composta por três etapas, conforme fluxograma apresentado na Figura 1.

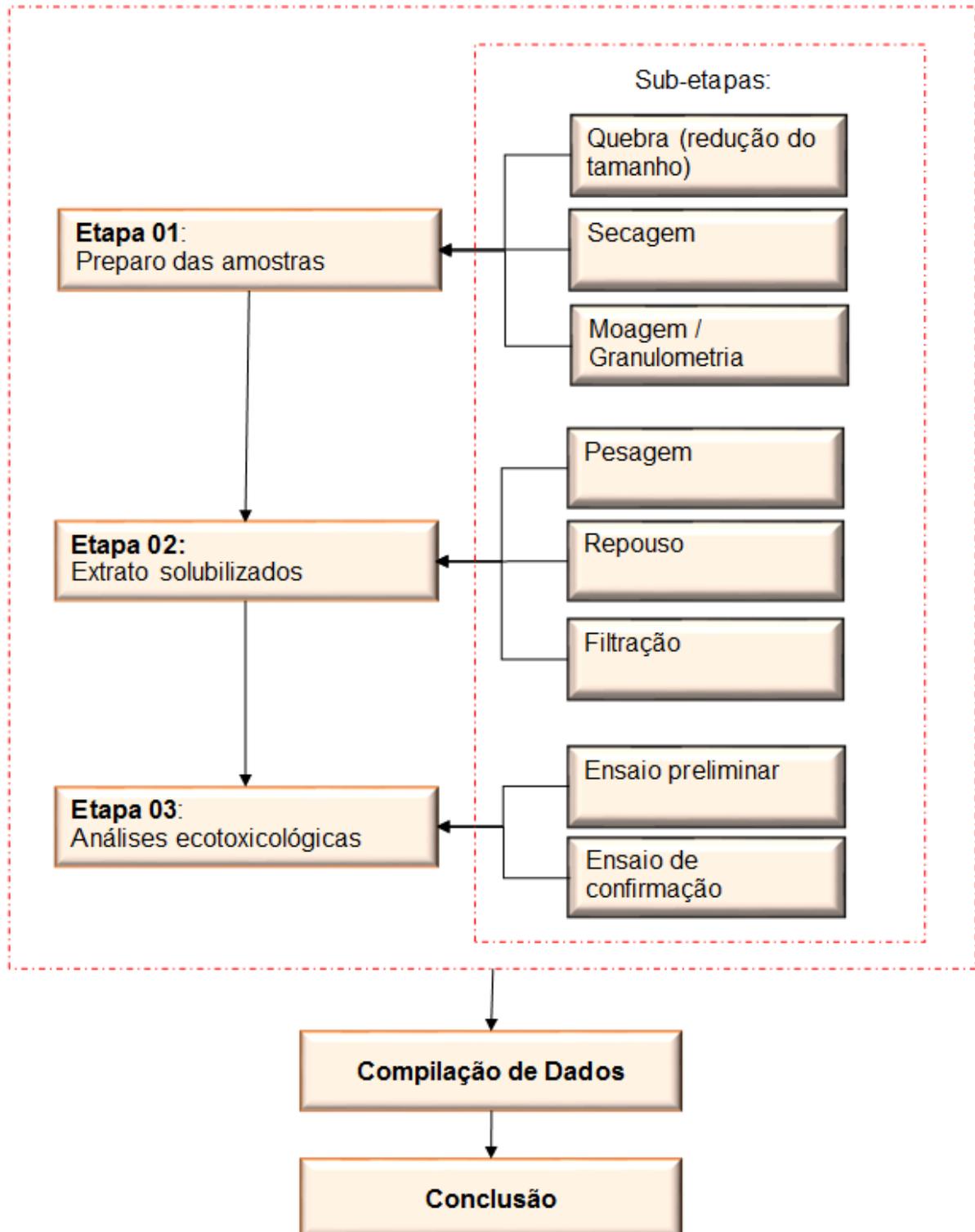


Figura 1 - Sequência metodológica: Fluxograma das etapas da pesquisa.

Fonte: O Autor (2018).

4.1. PREPARO DAS AMOSTRAS

O preparo das amostras (Etapa 1) consistiu na fragmentação das telhas até granulometria indicada e foi realizada em 4 sub-etapas, detalhadas no Quadro 3.

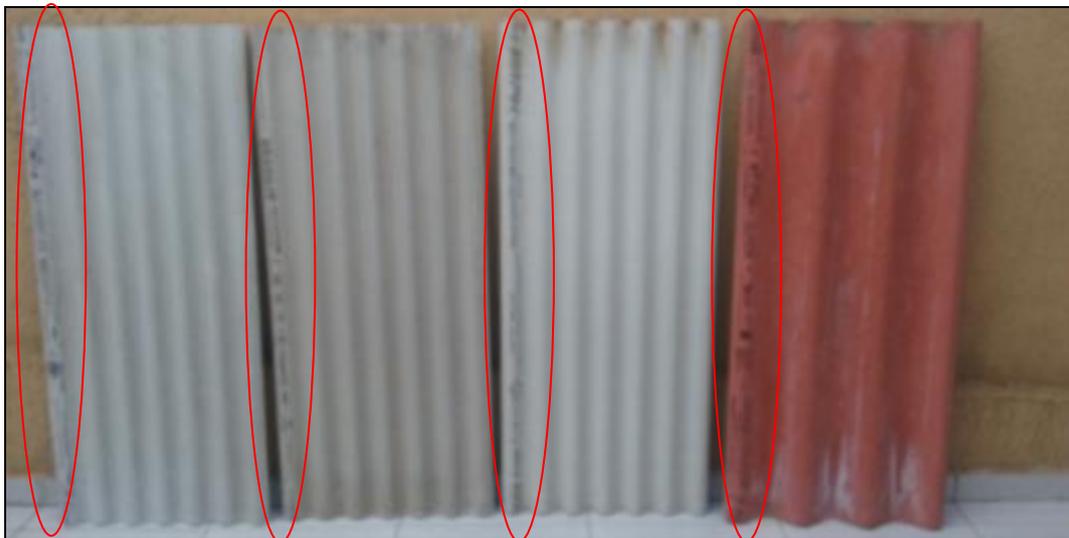
Quadro 3 – Etapas no Preparo das amostras.

Etapa	Atividade	Resultado obtido	Referência
Sub-etapa 01	Quebra das telhas manualmente e/ou com auxílio de um martelo.	Pré-moagem.	-
Sub-etapa 02	Secagem	Determinação do teor de umidade.	NBR 10.006 (2004)
Sub-etapa 03	Moagem em liquidificador industrial	Redução da granulometria.	-
Sub-etapa 04	Granulometria.	Homogeneização da amostra.	NBR 10.006 (2004)

Fonte: O Autor (2018).

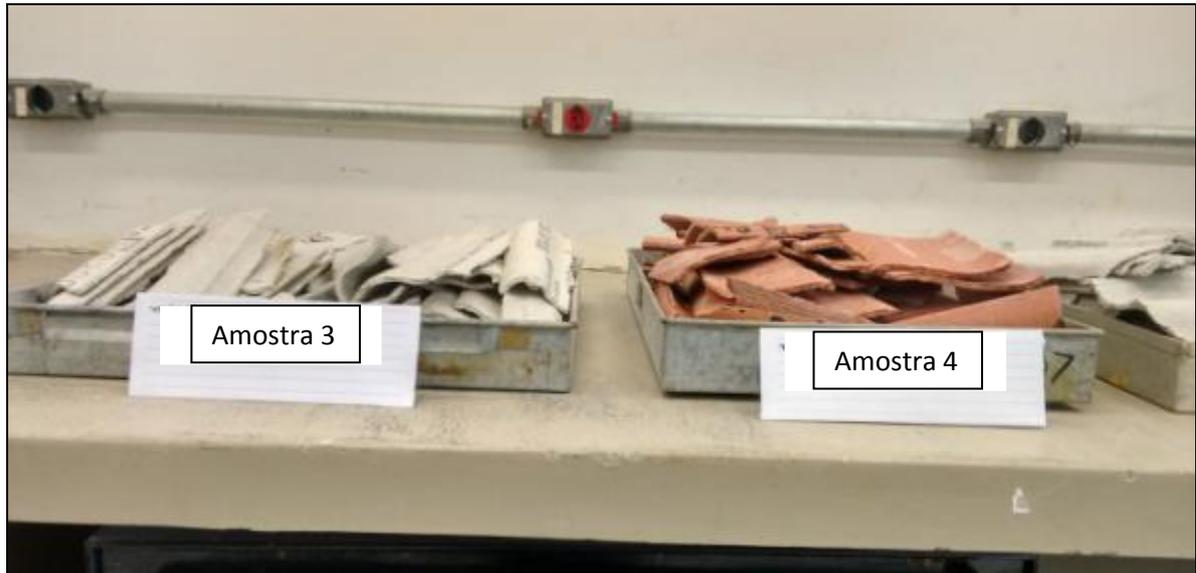
Na sub-etapa 01, as amostras foram identificadas (Figura 2) e enroladas em um tecido, a fim de evitar a geração de poeira durante a quebra manual e/ou com o martelo, sendo obtido os fragmentos indicados na Figura 3.

Figura 2 - Identificação das amostras de telhas de fibrocimentos empregadas



Fonte: O Autor (2018).

Figura 3 - Fragmentos de telhas após quebra com martelo / mãos.



Fonte: O Autor (2018).

Na sub-etapa 02, conforme NBR 10.006 (2004) - Procedimentos para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos, a determinação da umidade das amostras foi realizada após secagem em estufa a 42°C por 2 horas. Os resultados estão apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 - Teor de umidade das telhas antes da moagem.

Identificação das amostras	Teor de umidade
Amostra 01	3,1%
Amostra 02	2,5%
Amostra 03	1,5%
Amostra 04	1,7%

Fonte: O Autor (2018).

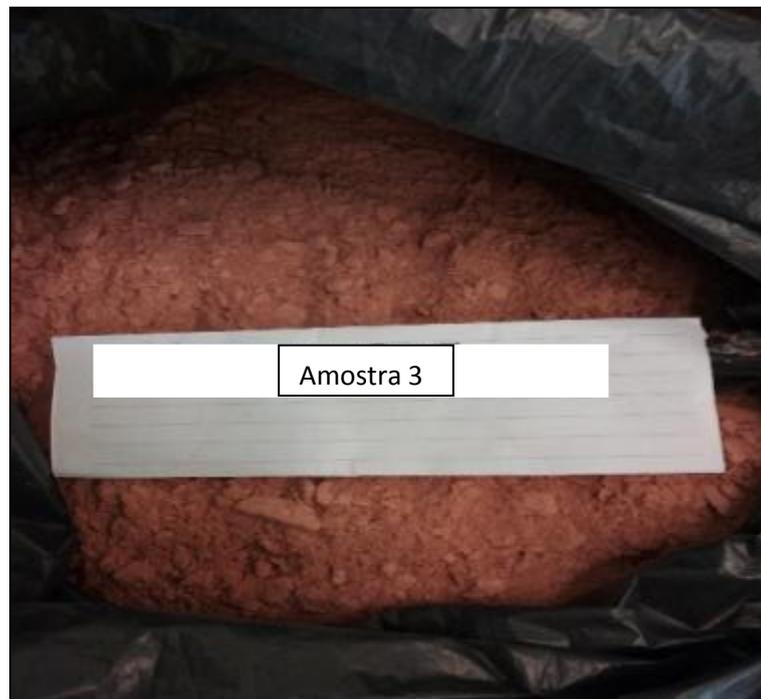
Para as sub-etapas 03 e 04, após secagem, as amostras foram moídas em liquidificador industrial (Figura 4), até obtenção da granulometria de 9,5mm, conforme NBR 10.006 (2004) - Procedimentos para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos (Figura 5).

Figura 4 - Liquidificador Industrial.



Fonte: O Autor (2018).

Figura 5 - Amostra após moagem.



Fonte: O Autor (2018).

Após moagem, as amostras foram homogeneizadas e armazenadas em sacos plásticos escuros em temperatura ambiente.

4.2. EXTRATO SOLUBILIZADO

A obtenção do extrato solubilizado foi iniciada imediatamente após a moagem das amostras e de acordo com a NBR 10.006 (2004) - Procedimentos para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos.

Os extratos foram realizados em duplicata, e consistiu nas sub-etapas destacadas no Quadro 5. A Figura 6 apresenta o extrato após repouso de 7 dias.

Quadro 5 – Sub-etapas para obtenção do extrato solubilizado.

Etapa 01	Pesagem de 500 gramas de amostra.
Etapa 02	Adição de 2000ml de água destilada.
Etapa 03	Homogeneização com bastão de vidro, por 05 minutos.
Etapa 04	Repouso da amostra por 07 dias, em ambiente isento de luz.
Etapa 05	Filtração a vácuo em membrana com porosidade de 45 µm.
Etapa 06	Homogeneização do filtrado obtido.
Etapa 07	Medição do pH.

Fonte: O Autor (2018).

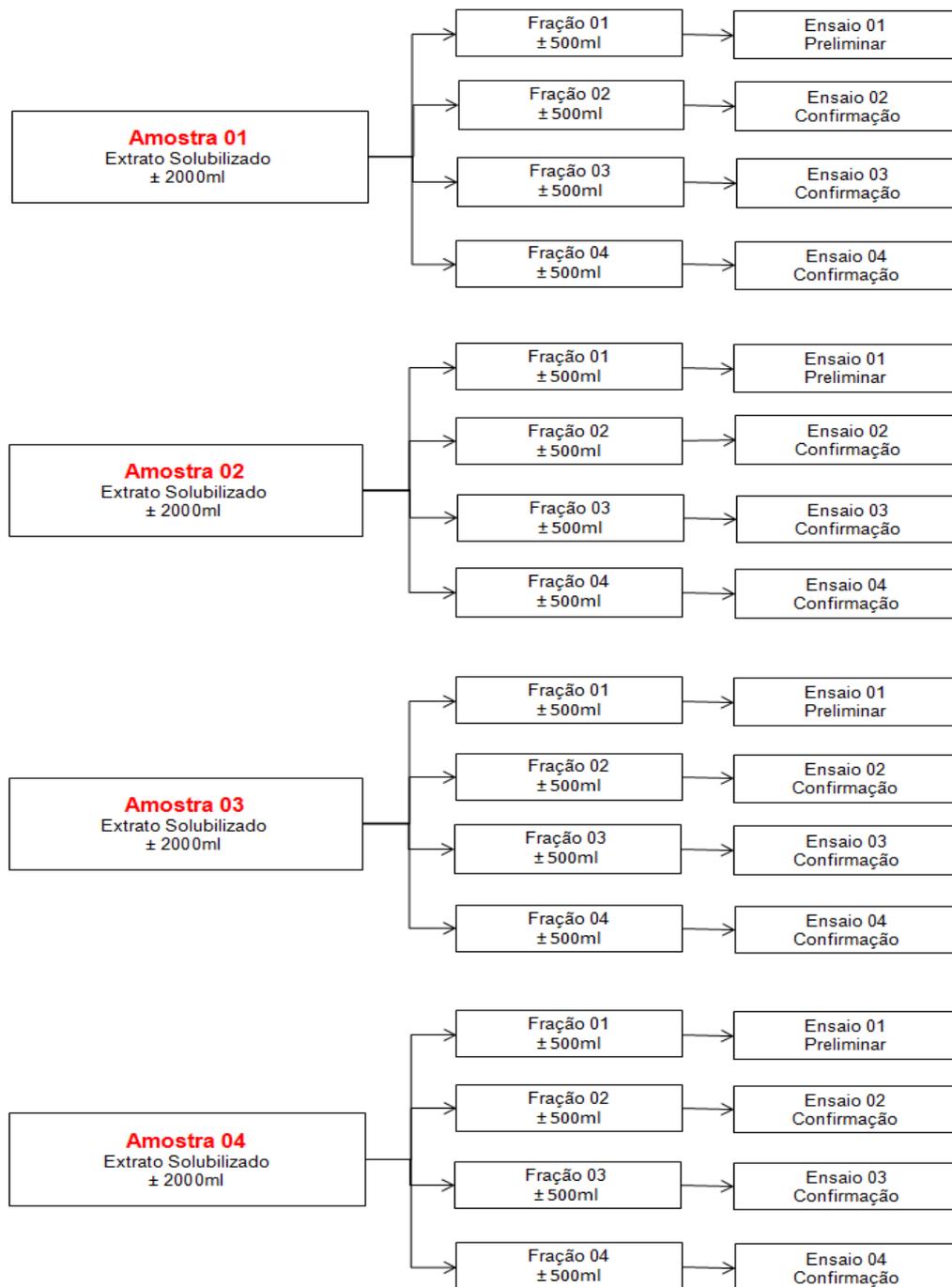
Figura 6 - Amostras após repouso de 07 dias.



Fonte: O Autor (2018).

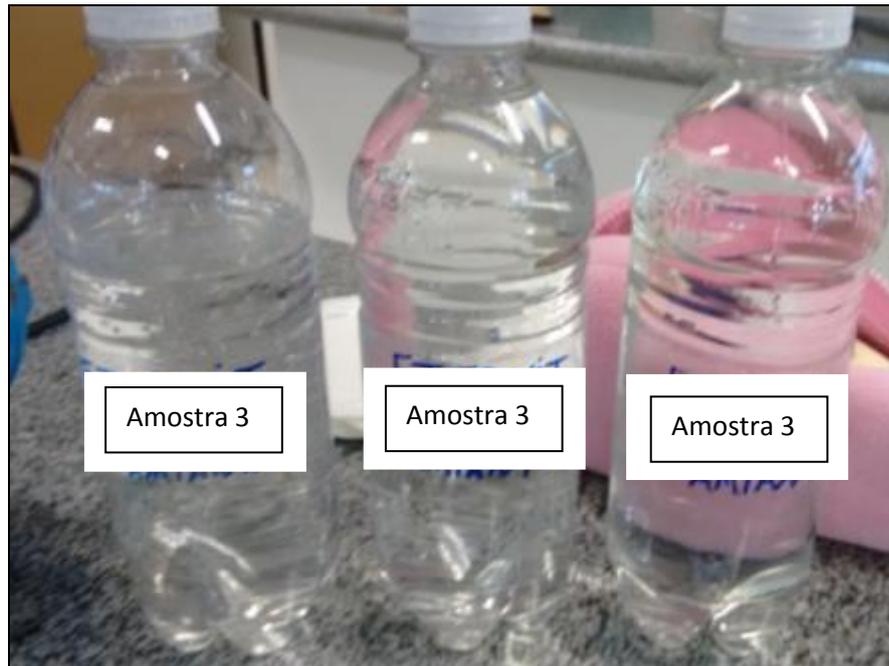
Após filtração e homogeneização, foram obtidos aproximadamente 02 litros de extrato para cada amostra, que foram fracionadas em garrafas plásticas de acordo com esquema apresentado na Figura 7. Os extratos obtidos acondicionados podem ser visualizados na Figura 8.

Figura 7 - Sequência de fracionamento das amostras.



Fonte: O autor (2018).

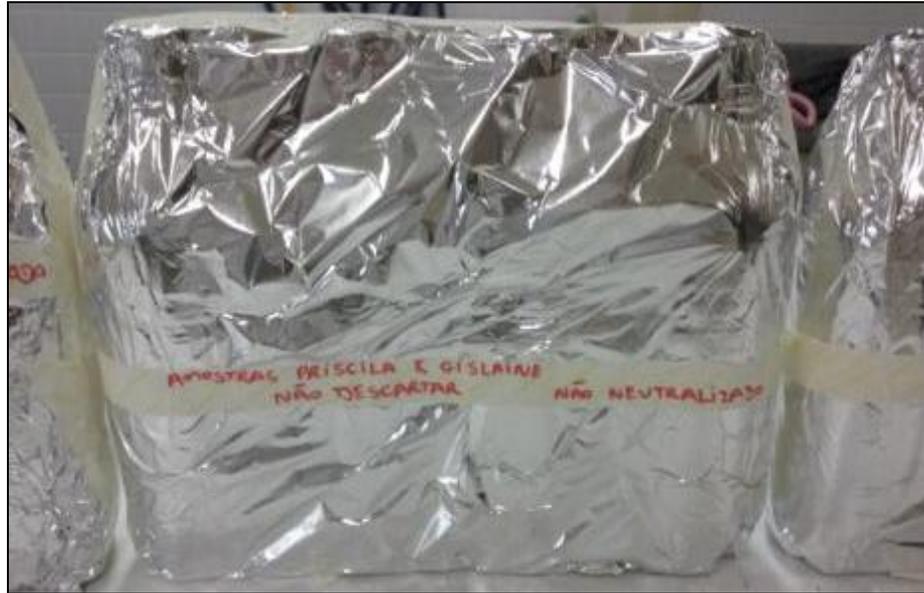
Figura 8 - Fracionamento das amostras em garrafas plásticas após filtração.



Fonte: O Autor (2018).

Após fracionamento, a fração 01 de cada amostra foi direcionada para os ensaios ecotoxicológicos (ensaio a fresco) e as demais frações foram envolvidas em papel alumínio (Figura 9) e armazenadas em refrigerador com temperatura entre 2° e 6°C, pelo período máximo de 60 dias, conforme norma NBR 15.469 (2015) - Ecotoxicologia - Coleta, preservação e preparo de amostras (ABNT, 2015).

Figura 9 - Envolvimento das amostras com papel alumínio.



Fonte: O Autor (2018).

As frações 02, 03 e 04 ficaram dispostas no refrigerador por 10, 15 e 30 dias respectivamente. Antes da realização dos ensaios ecotoxicológicos, as amostras foram mantidas em temperatura ambiente.

4.3. CULTIVO DE *DAPHNIA MAGNA*

A *Daphnia magna* é um microcrustáceo encontrado em rios e lagos. Sua utilização é ampla em ensaios ecotoxicológicos para a avaliação da qualidade da água (NBR 12.713:2016). Para Kniee Lopes (2004), para os ensaios ecotoxicológicos, os organismos devem apresentar características como:

“seletividade constante e elevada aos contaminantes, elevadas disponibilidade e abundância, uniformidade e estabilidade genética nas populações, representatividade de seu nível trófico, significado ambiental em relação à área de estudo, ampla distribuição e importância comercial

e, facilidade de cultivo e de adaptação às condições de laboratório.”

As *Daphnias magnas* direcionadas para os ensaios ecotoxicológicos possuíam entre 2 e 26 horas de vida e foram obtidas de fêmeas adultas, também chamadas de matrizes, com idade entre 10 e 60 dias, cultivadas no Laboratório de Ecotoxicologia da UTFPR.

As matrizes foram cultivadas em meio M4 (ANEXO A), sendo a troca do meio conforme abaixo:

- Total – Troca de 100% do meio M4 nas segundas e sextas-feiras.
- Parcial – Troca de 50% do meio M4 nas terças, quartas e quintas feiras.

Durante a troca dos meios, ocorreria a separação entre os filhotes e as matrizes por meio de peneira com granulometria adequada. Os filhotes foram então mantidos em meio básico (ANEXO B), até a realização dos ensaios.

As matrizes foram alimentadas de segunda a sexta-feira, com 20 mL de suspensão de algas fresca (*Desmodesmus subspicatus*) e mantidas em incubadora com temperatura de 20°C, e fotoperíodo em torno de 1000 lux por 16 horas (KNIE; LOPES, 2004).

Mensalmente, a sensibilidade dos organismos testes foi avaliada por meio de ensaio de sensibilidade ao ZnSO₄, sendo os valores médios e de desvio-padrão expressos em carta controle (ANEXO C).

4.4. ENSAIO DE SENSIBILIDADE

O ensaio de sensibilidade foi realizado nos organismos testes, ou seja, em filhotes com idade entre 2 e 26 horas, cujo objetivo é avaliar o nível de sensibilidade diante a uma substância de referência.

O ensaio de sensibilidade foi realizado em triplicata, em conjunto com o controle (meio básico sem a presença do ZnSO₄), e conforme parâmetros abaixo:

Em cada copo de Becker e/ou copo plástico:

- 30 ml de meio básico, contendo ZnSO₄ em concentrações definidas;
- 10 organismos teste;
- 48 horas de incubação;
- Leitura de organismo teste sem mobilidade.

Figura 10 - Exemplo de fracionamento (triplicata) da solução e das *Daphnias magna*.



Fonte: O Autor (2018).

Após leitura, pode-se calcular através da equação da reta, a CE₅₀ (concentração derivada estatisticamente que causa efeito, em porcentagem de imobilidade, em 50% dos organismos). Os valores de CE₅₀ foram compilados em uma carta controle, com a finalidade de estabelecer uma faixa de aceitação de resultados da sensibilidade de organismos para uso em testes (ANEXO C).

Conforme NBR 12.713 (2016) considerou-se o lote aceitável para uso quando a imobilidade, após 48 horas de exposição, apresentou desvio padrão de ± 2 e porcentagem de imobilidade menor ou igual a 10% no ensaio controle, ou seja, três organismos imóveis.

4.5. ANÁLISES ECOTOXICOLÓGICAS

Os ensaios ecotoxicológicos foram realizados com *Daphnia magna* e de acordo com a NBR 12.713 (2016) - Ecotoxicologia aquática - Toxicidade aguda - Método de ensaio com *Daphnia spp* (Crustacea, Cladocera).

Para cada amostra de extrato solubilizado proveniente das telhas, foram realizadas quatro análises, sendo:

- Ensaio 01 – Análise com extrato fresco;
- Ensaio 02 – Análise com extrato de 10 dias;
- Ensaio 03 – Análise com extrato de 15 dias;
- Ensaio 04 – Análise com extrato de 30 dias.

As análises foram realizadas em triplicata e em conjunto com o ensaio controle. Em paralelo aos ensaios, foram realizadas as análises de sensibilidade. Para ambas análises, foram adotados os mesmos critérios definidos para os ensaios de sensibilidade.

Os ensaios ecotoxicológicos tiveram início após neutralização do pH. A fração 01 teve seu pH ajustado logo após o fracionamento das amostras. As demais frações foram mantidas no refrigerador sem a correção do pH, sendo esta correção realizada antes da realização dos ensaios ecotoxicológicos 02, 03 e 04. Em ambas as correções foram utilizadas solução de Hidróxido de sódio 0,5% e ácido clorídrico 0,5%, sendo o pH verificado em pH-metro.

Conforme NBR 12.713:2016, o pH para ensaio com as *Daphnia magna* deve ser entre 5 e 9. O pH das amostras antes e após neutralização está apresentado no quadro 6.

Quadro 6 - pH inicial e final dos extratos solubilizados

Identificação	pH inicial	pH após correção
Amostra 01	12,10	7,02
Amostra 02	12,33	6,99
Amostra 03	12,92	7,00
Amostra 04	13,28	7,03

Fonte: O Autor (2018).

4.5.1 Análises Ecotoxicológicas com o Extrato Solubilizado

Os ensaios foram realizados com as seguintes concentrações:

- Fração 01 – 50%, 25% e 12,5%;
- Fração 02 – 100%, 90%, 80%, 70%, 50%;
- Fração 03 – 100%, 90%, 80%, 70%, 50%;
- Fração 04 – 100%, 90%, 80%, 70%, 50%.

As amostras, cuja foram diluídas, utilizaram-se água de diluição (ANEXO B).

Os ensaios com as frações 01 foram chamados de ensaio preliminar, cujo objetivo foi identificar a % aproximada de diluição do Fator de Toxicidade. Os demais ensaios, chamados de confirmação foram realizados posteriormente e com diluições menores as diluições adotadas no ensaio preliminar, devido à baixa toxicidade das amostras observada no ensaio preliminar.

Em ambas as análises, após preparo das soluções, foram adicionadas 10 *Daphnias magna* em 30 ml de solução. Após preparo, os organismos foram incubados a $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ por 48h em câmara de germinação tipo BOD, na ausência de luz. Após 24 horas de exposição, realizou se a primeira leitura (leitura parcial), sendo a leitura final realizada após 48 horas de exposição. Após o tempo de exposição o número de organismos imóveis por amostra foi quantificado para determinação do Fator de Toxicidade das amostras.

Conforme norma 12.713 (2016), utilizou-se como substância de referência para o ensaio de sensibilidade ZnSO₄ e resultado igual ou inferior a 10% de organismos imóveis no ensaio de controle (branco) – ANEXO C.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O preparo das amostras foi realizado conforme a norma 10.006 (2004). As amostras 03 e 04 tiveram seus tamanhos reduzidos com auxílio de um martelo. As amostras 01 e 02 tiveram seus comprimentos reduzidos manualmente, pois as mesmas “amassavam” quando utilizado o martelo. Esta dificuldade pode ser associada ao teor de umidade, visto que as amostras 01 e 02 apresentaram maiores umidades, 3,1% e 2,5%, respectivamente.

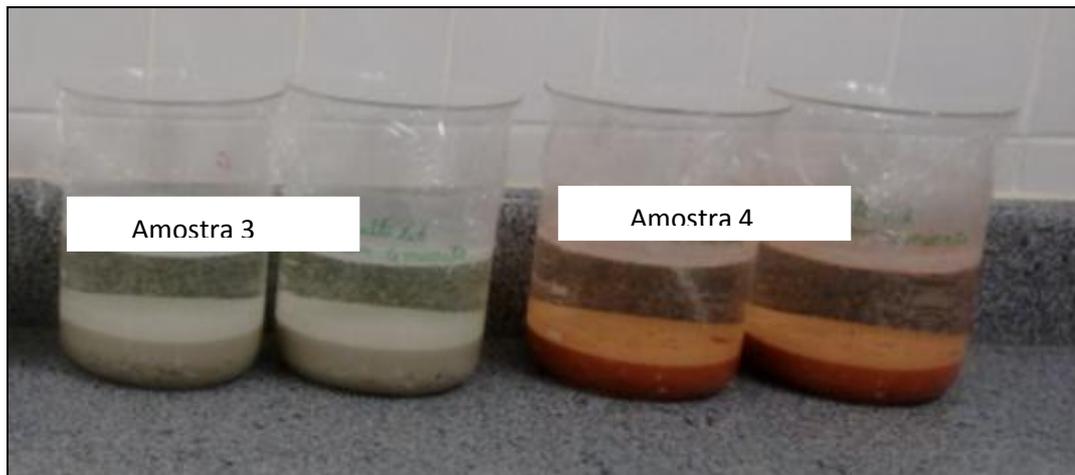
Durante o processo de preparação do extrato solubilizado, observou-se diferentes tempos de decantação, sendo que as amostras 01 e 02 apresentaram aspecto espumoso e sobrenadante turvo (Figura 10 a e b), enquanto que amostras 03 e 04 decantaram com maior rapidez e apresentaram sobrenadante límpido (Figura 11).

Figura 11 - Aspecto do sobrenadante das amostras antes da decantação. A) Amostra 01 e B) Amostra 02.



Fonte: O autor (2018).

Figura 12 - Aspecto do sobrenadante das amostras 03 e 04.



Fonte: O autor (2018).

Durante a filtração, as amostras 03 e 04 apresentaram maior concentração de materiais finos, que não interferiram na velocidade de filtração, visto que o tempo de filtração das amostras 01 e 02 foram maiores.

Após filtração, os extratos apresentaram pH semelhantes, conforme descrito no Quadro 06, após neutralização com NaOH 0,5% e HCl 0,5%, observou-se a limpidez nos extratos das amostras 01 e 02.

As amostras armazenadas no refrigerador não apresentaram oscilação no pH após os períodos de armazenamento.

Os primeiros ensaios ecotoxicológicos (ensaios preliminares) foram realizados com concentrações intermediárias, sendo que nas diluições adotadas não foram observadas toxicidades, conforme Quadro 7.

Quadro 7 - Número de Organismos-teste imóveis (Soma da triplicata): Ensaio preliminar

Identificação	Tipo de fibra	Diluição			
		50%	25%	12,5%	Controle
Amostra 01	Sintética	0	0	0	0
Amostra 02	Sintética	0	1	0	
Amostra 03	Mineral	0	0	1	
Amostra 04	Mineral	0	0	1	

Fonte: O Autor (2018).

Quando reduzida a % de diluição nos ensaios de confirmação, pode-se observar a presença de toxicidade, que oscilou entre as amostras contendo fibra mineral e sintética.

Quando comparadas duas amostras do mesmo fabricante (amostras 02 e 04), sendo uma amostra com fibra mineral (amostra 04) e a outra amostra com fibra sintética (amostra 02) pode se observar a maior toxicidade na amostra com fibra sintética, sendo a amostra 04 não tóxica. Os resultados, expressos em números de organismos imóveis, estão registrados nos Quadros 8 e 9.

Quadro 8 – Número de Organismo-teste imóveis (Soma da triplicata): Amostra 02

Ensaio Confirmação	Tipo de Fibra	100%	90%	80%	70%	60%	50%	Controle
01	Sintética s/ pigmentação	30	28	25	18	2	0	1
02		30	26	27	20	2	0	1
03		30	30	27	20	4	2	0

Fonte: O Autor (2018).

Quadro 9 - Número de Organismos-teste imóveis (Soma da triplicata): Amostra 04

Ensaio Confirmação	Tipo de Fibra	100%	90%	80%	70%	60%	50%	Controle
01	Mineral c/ pigmentação	4	3	1	2	1	0	1
02		2	0	0	0	0	0	1
03		3	0	0	0	0	0	0

Fonte: O Autor (2018).

Quando comparado as amostras 01 e 03, de fabricantes diferentes, pode-se observar a não toxicidade da amostra 01 (fibra natural), ou seja, não houve imobilidade nos bioindicadores expostos ao extrato bruto (Quadros 10 e 11).

Quadro 10 - Número de Organismos Testes imóveis (Soma da triplicata): Amostra 01

Ensaio Confirmação	Tipo de Fibra	100%	90%	80%	70%	60%	50%	Controle
01	Sintética s/ pigmentação	2	0	2	0	0	2	1
02		0	1	0	0	0	0	1
03		0	0	0	0	0	0	0

Fonte: O Autor (2018).

Quadro 11 - Número de Organismos-teste imóveis (Soma da triplicata): Amostra 03

Ensaio Confirmação	Tipo de Fibra	100%	90%	80%	70%	60%	50%	Controle
01	Mineral s/ pigmentação	30	30	25	21	1	2	1
02		21	20	8	2	2	0	1
03		19	15	12	5	3	0	0

Fonte: O Autor (2018).

Em relação à amostra 03, observou-se oscilações entre as frações analisadas e incoerência nos resultados obtidos nas diluições menores que 70%, o que requer repetição das análises a fim de caracterizar se houve degradação devido ao tempo de armazenamento, pois observou-se menor toxicidade ao repetir as análises (ensaios 02 e 03).

Em relação à toxicidade, observou-se que das quatro amostras analisadas, a amostra 02 é a mais tóxica, seguida pela amostra 03, conforme compilação dos resultados apresentado no Quadro 12.

Quadro 12 - Fator de Toxicidade (FT) das amostras

Identificação	Fabricante	Pigmentação	Tipo de fibra	FT _D
Amostra 01	B	Ausente	Sintética	100%
Amostra 02	E	Ausente	Sintética	57%
Amostra 03	M	Ausente	Mineral	63%
Amostra 04	E	Presente	Mineral	97%

Fonte: O Autor (2018).

6. CONCLUSÃO

Diante resultados obtidos, conclui-se que dos quatro extratos solubilizados de telhas de fibrocimento, dois extratos apresentam nível de toxicidade significativo e que existe a real necessidade de levantamentos quantitativos e estudos ecotoxicológicos complementares sobre esses produtos, muitas vezes descartados no ambiente de forma inadequada.

A toxicidade dos extratos solubilizados não pode ser associada única e exclusivamente às fibras utilizadas no produto, visto que este trabalho não abrangeu a caracterização dos compostos químicos presentes nos meios solubilizados.

Em trabalho envolvendo fibrocimento, Sottoriva et. al (2011) constataram, em seus estudos envolvendo lixiviação, que após exposição às intempéries, a degradação das telhas onduladas de fibrocimento 4 *mm* e desprendimento de fibras, que no meio urbano podem ser carregadas para os corpos hídricos. O desprendimento das fibras em materiais fibrocimentícios também foi observada por Andrade et. al (2017), que observou o desprendimento de fibras em telhas onduladas com 25 anos de exposição aos intempérie.

Esses resultados demonstram a necessidade de alterações nos processos produtivos, bem como a busca de matérias-primas menos tóxicas ao meio ambiente, por parte dos fabricantes, já que os seus produtos são expostos diretamente no meio ambiente.

Recomenda-se também a viabilidade de alteração nas Resoluções do CONAMA, sendo que a mesma faz referência aos resíduos contendo fibra mineral (amianto), não considerando deste modo a toxicidade dos resíduos contendo fibra sintética quando a mesma é utilizada em substituição à fibra mineral.

REFERÊNCIAS

- ALVES, A. C. B. A; SILVANO, J. **Avaliação da sensibilidade de *Daphnia magna* Straus, 1820 (Cladóceras, Crustácea) ao dicromato de potássio.** *Revista do Instituto Adolfo Lutz*. vol.65, n.1, p.59-61. São Paulo, 2006.
- ANDRADE, F.R.D. et al. **Liberção do asbestos com a degradação do fibrocimento.** São Paulo. Crisotila Brasil. Disponível em: <<http://www.crisotilabrasil.org.br/site/uploads/Liberacao%20do%20asbesto.pdf>>. Acesso em 09/05/2017.
- ARAUCO, L. R. R. **Toxicidade aguda do sulfato de cobre e do triclorfon para três espécies de *daphnias* em presença e ausência de sedimento.** Dissertação (Mestrado em Aquicultura de Águas Continentais) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.
- AREZON, Alexandre; NETO, Tiago José Pereira; BERGER, Wagner. **Manual sobre toxicidade em efluentes industriais.** Porto Alegre/RS: CEP SENAI de Artes Gráficas Henrique d'Ávila Bertaso, 2011. 40 p.
- ARTIGAS, L. V. **Fibrocimento.** Paraná. Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/0/0d/TC034_fibrocimento.pdf>. Acesso em 01/07/2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 10.004: Resíduos sólidos - Classificação.** Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 10.006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 10.007: Amostragem de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 12.713: Ecotoxicologia Aquática – Toxicidade aguda – Método de ensaio com *Daphnia spp* (Crustacea, Cladocera).** Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 15.469: Ecotoxicologia: Coleta, preservação e preparo de amostras.** Rio de Janeiro. 2015.

BRASIL, Governo Federal – Ministério do Meio Ambiente / Conselho Nacional do Meio Ambiente, **Resolução do Conama nº 307, de 05 de Julho de 2002.**

BRASIL, MINISTÉRIO DAS CIDADES - SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. MINISTÉRIO DAS CIDADES - Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - **Panorama dos resíduos de construção e demolição (rcd) no Brasil.** 2012. Disponível em: www.mp.go.gov.br/portalweb/hp/9/docs/rsu_doutrina_24.pdf. Acesso em: 29/05/2018.

CAUDURO, F. **Avaliação experimental de procedimentos de lixiviação de resíduos.** 2003. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

CESAR, A.; SILVA, S. L. R.; SANTOS, A. R. **Testes de Toxicidade Aquática no Controle da Poluição.** Artigo (Universidade Santa Cecília – UNISANTA). Santos/SP, 1997.

CHAGAS, L. S. **Classificação do amianto: Divergências entre normas internacionais e nacionais.** São Paulo, 2008. Disponível em <http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2008/anais/arquivosEPG/EPG00067_11_O.pdf>. Acesso em 23/06/2016.

CÓRDOBA, R. E. **Estudo do potencial de contaminação de lixiviados gerados em aterros de resíduos da construção civil por meio de simulação em colunas de lixiviação.** 2014. 340 f. Tese (Dourado engenharia hidráulica e saneamento). Escola de engenharia de São Carlos, São Paulo, 2014.

COSTA, Carla Regina et. al. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, vol.31, n. 7, p.1820-1830, São Paulo, 2008.

FREJ, T. A.; ALENCAR, L. H. **Fatores de sucesso no gerenciamento de múltiplos projetos na construção civil em Recife.** Pernambuco, 2009. Scielo. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/prod/2010nahead/aop_200812127.pdf>. Acesso em 08/05/2017.

GOUVEIA, N. **Resíduos sólidos urbanos: Impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social.** *Revista Ciência & Saúde Coletiva*, v. 17, n. 6, pp. 1503-1510, Rio de Janeiro, 2012.

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

MARTINS, C. R. M.; LOPES, W. A.; ANDRADE, J. B. **Solubilidade das substâncias orgânicas**. Química Nova, vol.36, nº8, São Paulo, 2013.

MENDES, Rene. **Asbesto (amianto) e doença: revisão do conhecimento científico e fundamentação para uma urgente mudança da atual política brasileira sobre a questão**, Rio de Janeiro, fev. 2001. Scielo. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102311X2001000100002>. Acesso em 07/07/2016.

NAGALLI, A. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos na Construção Civil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

NOVELLO, C.H. **O amianto e o passivo ambiental da mineração no Brasil: O mal do século XX**. 2012. 186 f. Tese (Doutorado em Ciências na área de Saúde Pública e Meio Ambiente). Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, ENSP, Rio de Janeiro, 2012.

OLIVEIRA, A. B. **Melhoria no processo Hatschek, por meio de tratamento de dados históricos, para fabricação de telhas onduladas**. 2010. 102 f. Tese (Mestre em engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 2010.

PAIVA, M.S.; SALGADO, M. S. **Treinamento das equipes de obras para implantação de sistemas da qualidade**. Artigo (Encontro Nacional de Engenharia de Produção). Ouro Preto, 2003.

RODRIGUES, N. L. V. B.; PAWLOWSKY, U. **Testes de toxicidade aguda através de bioensaios no extrato solubilizado dos resíduos classe II A – não inertes e classe II B – inertes**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p.8-16, mar. 2007.

RODRIGUES, N. L. V. B. **Testes de toxicidade aguda através de bioensaios no extrato solubilizado dos resíduos classe II a – não inertes e classe II b – inertes**. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Curso de Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

SÃO PAULO. ABAS. (Ed.). **Contaminação e Remediação de Águas Subterrâneas**. Disponível em: <http://www.abas.org/educacao_contaminacao.php>. Acesso em: 05/06/2017.

SCHWENGBER, E. R. **Resíduos da construção civil**. 2015. 82 f. Tese (Especialização em direito ambiental nacional e internacional). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2015.

SCREMIN, B. L. **Desenvolvimento de um sistema de apoio ao gerenciamento de resíduos de construção e demolição para municípios de pequeno porte**. 2007. 152 f. Tese (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2007.

SZILASSY, Elizabeth. **Levantamento dos riscos do consumo de água de chuva captada de telhados contendo fibrocimento de amianto**, Belo Horizonte, jul. 2007. Disponível em: <http://www.abcmac.org.br/files/simposio/6simp_beth_telhado.pdf>. Acesso em 23/06/2016.

SOTTORIVA, E. M.; GARCIAS, C. M. **Poluição difusa urbana por componentes inorgânicos: avaliação da contribuição dos compostos componentes do amianto presente nas telhas de fibrocimento e nos freios de veículos**. Revista Ambiente Construtivo, vol.11, n.3, pp.89-97. Curitiba, 2011.

TORREZANI, N. C.; OLIVEIRA E. F. **Problemas ambientais decorrentes da exploração do carvão mineral e a aplicação da ecotoxicologia aquática como ferramenta de biomonitoramento**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – PPGEA) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2013.

TRIGO, A. G. M.; SALIM, T. G. C.; MIRANDA, A. L. T. **Gerenciamento de resíduos da construção civil: as principais práticas de beneficiamento interno do empreendimento Ilha Pura**. 2016. Artigo (Congresso Nacional de Excelência em Gestão). Rio de Janeiro, 2016.

ZAGATTO, P. A.; BERTOLETTI, E. **Ecotoxicologia Aquática: princípios e aplicações**. 2 ed. São Carlos, SP: RiMa, 2008.

ANEXOS

Anexo A – Solução meio M4.

Para o preparo do meio M4 são necessários o preparo de 10 soluções:

Solução	Reagente	Massa (gramas)	Preparo
1	CaCl ₂ .2H ₂ O	73,5	Dissolver em 1 000 mL de água.
2	MgSO ₄ .7H ₂ O	123,3	Dissolver em 1 000 mL de água.
3	KCl	5,8	Dissolver em 1 000 mL de água.
4	NaHCO ₃	64,8	Dissolver em 1 000 mL de água.
5	MnCl ₂ .4H ₂ O LiCl RbCl SrCl ₂ .6H ₂ O CuCl ₂ .2H ₂ O ZnCl ₂ CoCl ₂ .6H ₂ O	7,21 6,12 1,42 3,04 0,335 0,26 0,20	Dissolver em 1 000 mL de água.
6	NaNO ₃ H ₃ BO ₃ NaBr 0,032 Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O NH ₄ VO ₃ KI Na ₂ SeO ₃	0,548 5,719 0,126 0,00115 0,0065 0,00438	Dissolver em 1 000 mL de água.
7	Na ₂ SiO ₃	21,465	Dissolver em 1 000 mL de água.
8	Na ₂ EDTA.7H ₂ O FeSO ₄ .7H ₂ O	0,50 0,19	Preparar 500ml de soluções separadamente misturaras duas soluções e autoclavar imediatamente FeSO ₄ .7H ₂ O 0,199 1 a 121 °C durante 15 min
9	KH ₂ PO ₄ K ₂ HPO ₄	0,28 0,36	Dissolver em 1 000 mL de água.
10	Hidrocloreto deTiamina Cianocabalamina (vitamina B12) D (+) Biotina	0,75 0,01 0,075	Dissolver 1 000 mL de água. Congelar no máximo até 30 dias

Fonte: Adaptado de NBR 12713 (2016).

O meio M4 foi preparado através da homogeneização em água ultrapura, das soluções acima nas seguintes quantidades:

Meio M4: Preparo	
Solução	Volume (ml)
1	3,2
2	0,8
3	0,8
4	0,8
5	0,1
6	0,5
7	0,2
8	0,5
9	05
10	0,1
Água ultrapura	Suficiente para completar 1000ml

Fonte: Adaptado de NBR 12713 (2016).

Conforme NBR 12713 (2016), o meio M4 deve ser aerado para solubilização total dos sais, saturação do oxigênio dissolvido e estabilização do pH durante pelo menos 12 horas após o preparo. Caso o pH da água não esteja entre 7,6 e 8,0, ajustar com solução de ácido clorídrico (HCl) ou hidróxido de sódio (NaOH).

Anexo B – Meio Básico ou água de diluição.

O meio básico foi preparado através da diluição das 4 primeiras soluções descritas no anexo A, nas seguintes quantidades:

Meio Básico	
Solução	Volume (ml)
1	3,2
2	0,8
3	0,8
4	0,8
Água ultrapura	Suficiente para completar 1000ml

Fonte: Adaptado de NBR 12713 (2016).

Conforme NBR 12713 (2016), o meio M4 deve ser aerado para solubilização total dos sais, saturação do oxigênio dissolvido e estabilização do pH durante pelo menos 12 h após o preparo. Caso o pH da água não esteja entre 7,6 e 8,0, ajustar com solução de ácido clorídrico (HCl) ou hidróxido de sódio (NaOH).

Anexo C – Carta Controle: Ensaio de Sensibilidade

Carta Controle - Testes de Sensibilidade com <i>Daphnia magna</i> - Sulfato de zinco					
Nº Teste	Data	Concentração (mg/L)	media	Desvio +	Desvio -
1	02/08/2017	42,59	38,37	42,62	33,83
2	09/08/2017	40,38	38,37	42,62	33,83
3	10/08/2017	38,38	38,37	42,62	33,83
4	11/08/2017	39,04	38,37	42,62	33,83
5	11/08/2017	37,01	38,37	42,62	33,83
6	17/08/2017	37,35	38,37	42,62	33,83
7	01/09/2017	38,72	38,37	42,62	33,83
8	05/09/2017	35,25	38,37	42,62	33,83
9	10/10/2017	39,75	38,37	42,62	33,83
10	10/11/2017	36,42	38,37	42,62	33,83
11	07/12/2017	35,58	38,37	42,62	33,83

Média	38,22
Desvio Padrão	2,20
Desvio P* 2	4,40
Média+2Desvios	42,62
Média - 2 Desvios	33,83

Carta Controle de Sensibilidade ZnSO₄

