



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
ENGENHARIA AMBIENTAL

ELDER LUIZ PORTO DE LIMA

**ALTERNATIVAS DE APLICAÇÃO DO LODO GERADO NO TRATAMENTO DE
EFLUENTES DA INDÚSTRIA TÊXTIL: REVISANDO A BIBLIOGRAFIA.**

JOÃO PESSOA – PB

2019

ELDER LUIZ PORTO DE LIMA

**ALTERNATIVAS DE APLICAÇÃO DO LODO GERADO NO TRATAMENTO DE
EFLUENTES DA INDÚSTRIA TÊXTIL: REVISANDO A BIBLIOGRAFIA.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal da Paraíba, como
requisito para obtenção do grau de Bacharel
em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof^a. Dra. Carmem Lúcia
Moreira Gadelha.

JOÃO PESSOA – PB

2019

L732a Lima, Elder Luiz Porto de

Alternativas de aplicação do lodo gerado no tratamento de efluentes da indústria têxtil: revisando a bibliografia. Elder Luiz Porto de Lima – João Pessoa, 2019.

47f. il.:

Orientador: Prof^a. Dra. Carmem Lúcia Moreira Gadelha.

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Ambiental) Campus I – UFPB / Universidade Federal da Paraíba.

1. Indústria têxtil 2. Lodo têxtil, 3. Efluente 4. Reaproveitamento
I.Título.

BS/CT/UFPB

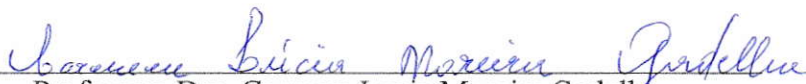
CDU: 2.ed.54(043)


FOLHA DE APROVAÇÃO

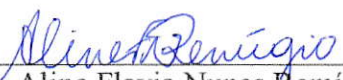
ELDER LUIZ PORTO DE LIMA

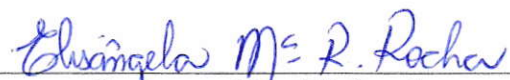
ALTERNATIVAS DE APLICAÇÃO DO LODO GERADO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA TÊXTIL: REVISANDO A BIBLIOGRAFIA.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 07/05/2019 perante a seguinte Comissão Julgadora:

 APROVADO
Professora Dra. Carmem Lucia Moreira Gadelha
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

 APROVADO
Professor Dr. Hamilcar José Almeida Filgueira
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

 APROVADO
Professora Dra. Aline Flavia Nunes Remígio Antunes
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB


Professora Dra. Elisângela
Maria Rodrigues Rocha
Coordenadora do Curso de Engenharia Ambiental

Elisângela M. R. Rocha
Coordenadora de Eng. Ambiental
CT/UFPB – Mat. 1821373

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à minha família, principalmente aos meus pais por sempre acreditarem em mim, me incentivarem, pelo amor dedicado e por torcerem sempre pelo meu sucesso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, o qual tem estado ao meu lado em todos os momentos me dando força para nunca desistir dos meus sonhos.

Aos meus pais, Maria Lucinéia Porto de Lima e Ernani Sousa de Lima, por sempre estarem ao meu lado me aconselhando e me ensinando sempre coisas boas. Além dos esforços para que eu e minha irmã Laís, possamos ser a cada dia pessoas melhores.

Aos meus tios, Erinaldo Porto e Sandra Porto, por terem me acolhido tão bem em sua casa durante o período da minha graduação.

À minha orientadora Carmem Lúcia, por ter me guiado não só na realização desse trabalho, como também no meu projeto de pesquisa, além de ter sido uma excelente professora durante o curso.

Aos colegas do laboratório de saneamento (LABSAN-UFPB), por terem contribuído para o meu aprendizado.

Aos colegas de curso, por estarem sempre ajudando um ao outro para conclusão do curso. Principalmente aos amigos Ana Mayara e Lucas Miranda, que estiveram sempre presentes nessa longa caminhada.

Aos meus amigos Caroline Vasconcelos e Ítalo Hardman, por sempre estarem presentes enquanto estava morando na cidade de João Pessoa-PB.

Enfim, a todos os amigos e familiares que estiveram envolvidos e colaboraram de alguma forma para a realização de mais um sonho.

RESUMO

O setor de processamento têxtil é de grande importância para o desenvolvimento do país, pois agrega benefícios, tanto econômicos quanto sociais, sendo um dos principais setores da indústria no que diz respeito à geração de empregos. Por outro lado, tem como característica do seu processo industrial a geração de grandes volumes de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, que apresentam um grande potencial poluidor, fazendo-se necessário o tratamento adequado desses efluentes. Após passar pelo processo de tratamento, os efluentes têxteis produzem um resíduo sólido nomeado de lodo, que é constituído basicamente por matéria orgânica e metais pesados. A geração de lodos, provenientes de estações de tratamento de efluentes industriais, cria graves passivos ambientais relacionados ao seu descarte em aterros sanitários ou sua incineração. Neste cenário, este trabalho tem como principal objetivo estudar alternativas viáveis para a reutilização do lodo gerado no tratamento de efluentes industriais têxteis, como por exemplo, sua aplicação na fabricação de materiais de construção e na geração de energia. A metodologia empregada consistiu em uma pesquisa bibliográfica afim de encontrar métodos, já estudados e testados, que utilizem o lodo de origem têxtil para a aplicação do mesmo, diferente de seu descarte. Para analisar e comparar cada aplicação, foi construída uma tabela que apresenta as vantagens e desvantagens de cada método afim de escolher os métodos que, em termos de custo, eficácia e praticidade, apresentem-se como as aplicações mais indicadas para o uso do lodo. Avaliando a tabela, pôde-se concluir que a utilização do lodo para a construção de tijolos ecológicos, blocos de pavimentação e a produção de fertilizantes foram os métodos mais indicados para sua reciclagem.

Palavras-chave: Indústria têxtil, Lodo têxtil, Efluente, Reaproveitamento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Processo de fabricação de tecidos.	13
Figura 2. Esquema de uma estação de tratamento de efluentes utilizando lodo ativado, tipicamente empregada para tratamento de efluente têxtil.	19
Figura 3. Interações observadas durante a eletrocoagulação.....	20
Figura 4. Teste antiespumante com a fração de bio-óleo obtida com pirólise a 500 °C.	25
Figura 5. Posição que os corpos de provas devem ser ensaiados. – Representação esquemática.	Erro! Indicador não definido.
Figura 6. Blocos cerâmicos de vedação após a sinterização a 950°C. Erro! Indicador não definido.	
Figura 7. Bloco cerâmico acústico.	29
Figura 8. Mistura de lodo com areia.	30
Figura 9. Blocos de pavimento construído em escala de laboratório.	31
Figura 10. Planta de biogás em escala laboratorial.	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Formulações para produção dos corpos de prova.	27
Tabela 2. Quantidade de biogás gerado.	33
Tabela 3. Combinações de lodo e esterco de vaca.....	33
Tabela 4. Vantagens e desvantagens das aplicações de lodo têxtil.....	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIQUM – Associação Brasileira da Indústria Química

ABIT – Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

BC700 – Biocarvão obtido a pirólise de 700 °C

Cd – Cádmio

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

Cr – Cromo

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

EC – Eletrocoagulação

Fe – Ferro

HAP – Hidrocarboneto Aromático Policíclico

mm – Milímetro

MPa – Mega Pascal

NaHCO₃ – Bicarbonato de sódio

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

OD – Oxigênio Dissolvido

OL₃₁₀ – Bio-óleo obtida com a pirólise realizada a 310 °C

OL₅₀₀ – Bio-óleo obtida com pirólise realizada a 500 °C

Pb – Chumbo

SST – Sólidos Suspensos Totais

STD – Sólidos Totais Dissolvidos

UFPB – Universidade Federal da Paraíba

UR – Umidade Relativa

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	11
2.1. Objetivo geral.....	11
2.2. Objetivos específicos.....	11
3. METODOLOGIA	12
4. REFERENCIAL TEÓRICO	12
4.1. Processo de produção na Indústria Têxtil.....	12
4.2. Principais corantes usados na indústria têxtil.....	13
4.2.1. Corantes Dispersos	14
4.2.2. Corantes Reativos.....	15
4.3. Efluentes têxteis e sua problemática ambiental	15
4.4. Tratamentos do efluente têxtil	17
4.4.1. Tratamentos convencionais	17
4.4.2. Tratamento de efluente têxtil através de processos de eletrocoagulação	19
4.5. Lodo Têxtil.....	21
4.6. Alternativas de aplicação do lodo têxtil	22
4.6.1. Pirólise aplicada ao tratamento e reutilização de lodo têxtil	23
4.6.2. Lodo de origem têxtil incorporado em materiais de construção	25
4.6.3. Geração de biogás a partir de lodo têxtil	32
4.6.4. Produção de adubo utilizando lodo têxtil e esterco de vaca através da vermicompostagem	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
6. CONCLUSÕES	40
7. REFERÊNCIAS	41

1. INTRODUÇÃO

A indústria têxtil brasileira e de confecção é considerada uma das maiores a nível mundial (ZONATTI, 2016). Segundo dados da Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT, 2018), o Brasil é o quarto maior produtor de malhas no mundo. Sua produção média de artefatos têxteis alcançou a marca de 8,9 bilhões de peças em 2017 (vestuário, meias, acessórios, cama, mesa e banho), equivalente ao faturamento de 51,58 bilhões de dólares americanos. Esse fato garante o posto quarto maior produtor de malhas de mundo. O setor reúne mais de 27,5 mil empresas formais, a maioria de pequeno e médio porte, espalhada por todo o território nacional e emprega cerca de 1,5 milhão de brasileiros, sendo o segundo maior empregador da indústria de transformação, perdendo apenas para a de alimentos e bebidas (juntos).

Segundo Aquino et al. (2015), as indústrias de processamento têxtil são importantes segmentos econômicos e sociais do estado da Paraíba, sendo a cidade de João Pessoa, capital do estado, um grande polo industrial de confecções de toalhas. Porém, este setor é também classificado como de alto potencial poluidor, uma vez que apresenta elevado consumo de água e energia elétrica, utiliza diversos insumos de origem química que, por sua vez, produz grandes volumes de efluentes que, quando tratados, geram quantidades elevadas de lodo (MENG et al., 2016).

Efluentes têxteis geralmente são tratados por processos físico químicos, com coagulação e floculação, e biológicos, como degradação aeróbia e anaeróbia (KIM et al., 2015). Outro processo que vem tendo destaque no tratamento de efluentes de origem têxtil é a eletrocoagulação, caracterizada como um método inovador, viável e de simplicidade operacional, contribuindo para diminuir os impactos da ação antrópica sobre a integridade química, física e biológica do meio natural (FLECK et al., 2013).

Um dos principais impactos ambientais causados pelas atividades têxteis é o decorrente da geração do lodo após o tratamento do efluente, que, via de regra, não apresenta tratamento e destinação final adequado (GALASSI et al., 2012). O lodo residual têxtil é um material semissólido, constituído por matéria orgânica, substâncias tóxicas, como metais pesados, surfactantes, sais, dentre outras. Devido a suas características de composição pode ser considerado um resíduo de Classe I, perigosos e tóxicos segundo a ABNT NBR 10.004. Desta maneira, fica como obrigatoriedade a necessidade de tratamentos adequados para sua disposição final apropriada em aterros sanitários.

Para Ramos et al (2009) e Moreira (2001), com as novas leis de proteção ao meio ambiente, e a crescente e progressiva implantação de novas e exigentes diretrizes na gestão de resíduos para as sociedades industrializadas, na perspectiva de um desenvolvimento sustentável, faz-se necessário desenvolver métodos alternativos e eficazes em substituição a sua incineração, ou ao simples descarte desses em aterros sanitários.

Para Soares (2016), o lodo oriundo do processo de tratamento do efluente têxtil apresenta um potencial de valorização grande, pois, pelo fato de ser um material inutilizado pela fábrica e por ser gerado em grande volume, as empresas gastam muito para depositá-los em aterros específicos.

Em vista desse cenário, é necessário buscar uma melhor alternativa ao descarte do lodo gerado no tratamento de efluentes do processamento têxtil. Pesquisas vem sendo desenvolvidas nos últimos anos visando o reaproveitamento desse lodo têxtil como, por exemplo, a sua aplicação em materiais de construção (AQUINO et al., 2015; CASTRO et al., 2015; JEEVANANDAM et al., 2015; GUBA et al., 2016; SOARES, 2016; HOSSAIN et al., 2018), geração de biogás (GUBA et al., 2016) e produção de fertilizantes de uso agrícola (YADAV e SHARMA, 2017). Sendo assim, o presente trabalho aponta algumas utilizações do lodo gerado no tratamento de efluentes têxteis, visando aplicações adequadas desse material, reduzindo seus impactos no meio ambiente provocados pela disposição inadequada em aterros sanitários.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Levantar informações sobre a viabilidade das alternativas de aplicação do lodo gerado no tratamento de efluentes têxteis, por meio de uma pesquisa bibliográfica.

2.2. Objetivos específicos

- Estudar o referencial bibliográfico relativo as alternativas que visem a reutilização do lodo de origem têxtil;
- Descrever as metodologias aplicadas na reutilização do lodo têxtil em diferentes setores;
- Apresentar as vantagens e desvantagens de cada alternativa de aplicação do lodo têxtil selecionada;

3. METODOLOGIA

Este trabalho trata-se de uma pesquisa de cunho teórico e qualitativo. Foi realizado por meio de levantamento em material bibliográfico específico acerca do tema, ou seja, a importância do processo de tratamento dos efluentes da indústria têxtil e apresentar as propostas para utilização do lodo gerado no processo.

Em seguida a pesquisa bibliográfica foi organizada em uma sequência lógica acerca da importância da indústria têxtil; seus processos; os riscos ambientais causados pelo efluente gerado no beneficiamento têxtil; a importância do tratamento dos efluentes têxteis e os riscos causados pelo lodo, um dos produtos finais gerado após o tratamento dos efluentes. Na sequência foram apresentadas alternativas de aplicação do lodo gerado no tratamento de efluentes industriais têxteis.

Para a coleta de dados foram utilizadas, como fontes bibliográficas, artigos científicos, dissertações e teses publicadas em revistas, livros científicos, utilizando principalmente as bases de dados do *Environment*, além de normas e a legislação pertinente. Os critérios de inclusão foram: artigos internacionais e nacionais disponíveis na íntegra nos bancos de dados selecionados e artigos publicados no período de 2015 à 2019 que abordassem a aplicação do lodo proveniente do tratamento têxtil em diferentes setores. Os critérios de exclusão foram: editoriais; cartas ao leitor; e, trabalhos de conclusão de curso.

Na etapa de análise e interpretação de dados foi realizada uma leitura minuciosa com a finalidade de organizar as informações contidas nas fontes, de forma que estas possibilitassem as respostas ao problema da pesquisa.

Uma vez analisadas e interpretadas as informações, foi construída uma tabela mostrando as vantagens e desvantagens de cada método de aplicação do lodo têxtil, no que diz respeito a eficácia, custo e contribuição ambiental.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. Processo de produção na Indústria Têxtil

O principal objetivo da indústria têxtil é de transformar fibras em fios, fios em tecidos e os tecidos em produtos para o consumo, sendo eles roupas de vestuário, cama, mesa, banho (SOARES, 2016).

As principais etapas do processo de fabricação do tecido são descritas por Bastian e Rocco (2009) de acordo com a Figura 1.

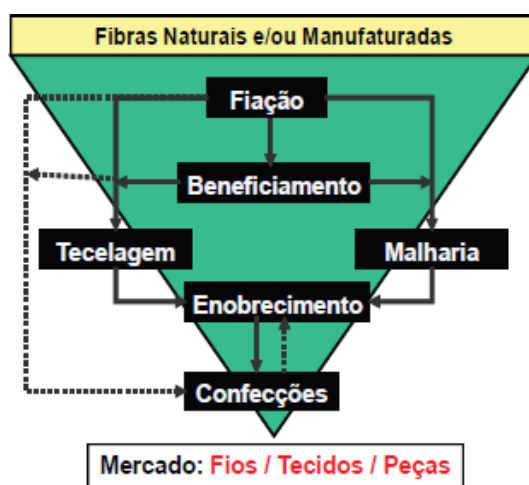


Figura 1. Processo de Fabricação de Tecidos - Fonte: Bastian e Rocco (2009).

Onde:

- **Fiação:** é a etapa do processo em que o fio é produzido a partir de fibras têxteis. O fio pode ser enviado diretamente para o beneficiamento quanto para tecelagem ou malharia;
- **Beneficiamento:** compreende a fase na qual se retira toda a impureza do algodão, classificando-o segundo a fibra e pureza. Esta etapa de preparação pode ser através de processos físicos e químicos com o intuito de melhorar a característica física, química e visual do tecido;
- **Tecelagem e/ou Malharia:** etapa de elaboração de tecido plano a partir dos fios. Este processo é feito através do cruzamento em ângulo reto de dois fios paralelos (ARAÚJO e CASTRO, 2005);
- **Enobrecimento:** etapa de preparação, tingimento, estamparia e acabamento de tecidos, malhas ou artigos confeccionados;
- **Confecção:** nessa etapa se completa o ciclo através da aplicação do tecido em fins utilitários. Geralmente, esse setor é terceirizado.

4.2. Principais corantes usados na indústria têxtil

Existem mais de 100 mil corantes disponíveis no mercado global com uma produção anual estimada de mais de 700 mil toneladas, sendo que, 10 a 50% desses corantes

são perdidos no efluente (KHANDEGAR, 2013), caracterizando, portanto, os despejos que são gerados nesse setor como sendo fortemente coloridos, devido à presença dos corantes que não se fixam na fibra durante o processo de tingimento.

Os corantes têxteis são classificados tanto de acordo com sua estrutura química, como também, pela forma que se ligam às fibras. Os corantes utilizados com maior frequência na indústria têxtil são os dispersos, direto, à cuba, ácido, pré-metalizado, sulfurosos, branqueadores e o mais utilizado na indústria têxtil de todo o mundo, os corantes reativos (GUARANTINI; ZANONI, 2000).

No Brasil, a utilização de corantes concentra-se, principalmente, nos reativos para fibras celulósicas que respondem por 57 % do mercado, seguidos pelos corantes dispersos com 35%, poliamida, com 3% e acrílico, com 2% (ABIQ, 2011).

Os corantes reativos e dispersos apresentam como principal problema a coloração dos efluentes, que ocorre, particularmente, pela baixa eficiência de sua fixação à fibra, contribuindo para o descarte destas espécies nos efluentes têxteis (VAN DER ZEE et al., 2005). Essas duas classes de corantes têm tido uma atenção especial por serem, exageradamente, tóxicos e muito resistentes a ataques microbianos (KUNZ, 2002).

4.2.1. Corantes Dispersos

Os corantes dispersos são compostos aromáticos não iônicos, que na maioria das vezes contêm grupos azo como cromóforo. O nome disperso vem do fato de durante o tingimento, o corante precipitar lentamente numa forma dispersa. Esta classe de corante apresenta uma baixa solubilidade em água, o que favorece a perda de 50% do mesmo durante a etapa de tintura, gerando resíduos altamente coloridos e com grande carga orgânica. São utilizados, principalmente, na tintura de fibras sintéticas, como poliéster, triacetato de celulose e poliamidas. Durante o processo de tingimento, o grau de solubilidade do corante deve ser baixo e de valor definido, o que influencia diretamente na qualidade da tintura. Com o auxílio de agentes dispersantes, o tingimento é mais eficiente, já que estes agentes estabilizam a suspensão do corante, facilitando, pois, o contato entre corante e fibra (GOLOB, 1999; GUARATINI, 2000; ZANONI, V. B., 2000; GARRIGÓS et al., 2002; BRUNELLI, 2009).

4.2.2. Corantes Reativos

São classificados como corantes reativos aqueles que possuem um grupo eletrofílico (reativo), que são capazes de formar ligações covalentes com os grupos hidroxila das fibras de celulose e com grupos amino das poliamidas (GUARATINI; ZANONI, 2000).

Este grupo de corantes apresenta como característica uma alta solubilidade em água e o estabelecimento de uma ligação covalente com a fibra, conferindo maior estabilidade à cor do tecido tingido (CERQUEIRA, 2006).

Dentre os vários tipos de corantes reativos, os principais contêm a função azo e antroquinona, como grupos cromóforos, e clorotriazinila e sulfatoetilsulfonila como grupos reativos. Neste tipo de corante, a reação química que ocorre é a reação de substituição do grupo nucleofílico pelo da hidroxila da celulose (GUARANTINI, 2000).

4.3. Efluentes têxteis e sua problemática ambiental

Apesar da contribuição da indústria têxtil como uma importante fonte de renda em muitos países, os impactos ambientais trazidos por essa atividade não podem ser deixados de lado (WONG et al., 2018). Os efluentes gerados pela indústria têxtil são considerados os mais poluidores entre todas as outras indústrias. Eles contêm altas concentrações de produtos químicos orgânicos e inorgânicos e são caracterizados por apresentarem elevada Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Biológica de Oxigênio (DBO), Sólidos Totais Dissolvidos (STD), Sólidos Suspensos Totais (SST), baixo Oxigênio Dissolvido (OD), pH elevado, cor forte, além de outros componentes químicos presentes nesse tipo de efluente (ISLAM; GUHA, 2013).

Ao longo da cadeia produtiva têxtil as diversas operações levam a geração de resíduos sólidos, efluentes líquidos e gasosos, sendo os dois primeiros objetos de estudos nas últimas décadas devido ao seu potencial poluidor. As emissões de poluentes líquidos causam a maior contaminação e modificação do ambiente, pois são tóxicos e geralmente não biodegradáveis. A não biodegradabilidade está relacionada a grande quantidade de corantes, surfactantes e aditivos que são compostos orgânicos com estruturas complexas. Além de existir traços de metais tais como, níquel, manganês, chumbo, cromo, cádmio, zinco, ferro e mercúrio, o que compromete o descarte desses efluentes (SOARES, 2016).

Os processos de preparação da matéria prima e tinturaria são responsáveis pela maior parte dos efluentes têxteis gerados em uma indústria. Aproximadamente 80 L de água

são necessários para processar 1 kg de tecido e por volta de 80% dessa água torna-se efluente. O setor têxtil gera em média 50m³/h de resíduo, podendo chegar a valores de 300m³/h, em empresas de grande porte (RESENDE, 2012).

Tendo em vista esta realidade, vários estudos estão sendo realizados para desenvolver tecnologias limpas e processos que visem chegar a um estado de descarga zero destes poluentes no meio (KUNZ, 2002).

Segundo Cerqueira (2006), a presença de corantes no efluente é extremamente indesejável mesmo em baixas concentrações. Os corantes são na maioria, formados por estrutura complexa e de origem sintética, por isso apresentam resistência ao tratamento, sendo muito difícil o processo de descoloração da água residual (AOUNI et al., 2012).

Para Zanoni (2001) e Allen et al. (2005), os rejeitos oriundos da atividade têxtil apresentam um elevado nível de cor. Quando despejados de forma inadequada nos corpos d'água, diminuem a transparência impedindo a penetração da radiação solar, interferindo na atividade fotossintética, que reflete na quantidade de oxigênio dissolvido no meio. Os corantes presentes no efluente causam danos aos organismos aquáticos, como por exemplo, alterações nas guelras e brânquias dos peixes, além de perturbar seus locais de desova e refúgio.

Abreu et al. (2008) relata a presença de efeitos tóxicos dos efluentes têxteis sobre peixes, tais como, estresse respiratório, efeitos mutagênicos e carcinogênicos, bioacumulação em tecidos, biomagnificação, ou seja, propagação pela cadeia alimentar, e efeitos letais e adversos como redução da biodiversidade e processos de eutrofização nos ambientes aquáticos.

Esses compostos podem permanecer por cerca de 50 anos em ambientes aquáticos, pondo em risco a estabilidade desses ecossistemas e a vida em seu entorno. Os efeitos dos produtos da degradação de grande parte dos corantes nesses ambientes e no homem podem ser ainda mais nocivos que os próprios pigmentos (ZANONI, 2001).

Além disso, a saúde dos frutos do mar é comprometida devido aos efeitos da bioacumulação das moléculas de corante no ecossistema marinho. A transferência destes compostos para o corpo humano, através da ingestão de frutos do mar, pode levar a efeitos indesejáveis e irreversíveis para os sistemas nervosos de humanos (OZ et al., 2011).

O efluente tratado deve atender aos padrões de lançamento, com valores estabelecidos pela Resolução do Ministério do Meio Ambiente. Segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Resolução Nº 430/2011, não é permitida a presença de corantes provenientes de fontes antrópicas que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencional em corpos de água de classes especiais, 1 e 2.

A Resolução CONAMA nº 430/2011 estabelece padrões de lançamento de efluentes nos corpos hídricos, fixando valores de pH entre 5 e 9, temperatura inferior a 40 °C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3 °C no limite da zona de mistura. Apesar de não especificar os valores para os parâmetros da DBO, recomenda-se que este parâmetro seja reduzido em 60% após o tratamento, sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico, que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.

Desta forma, o tratamento do efluente têxtil é de grande responsabilidade e obrigatória por parte das indústrias desse ramo, visto que, a atividade têxtil é um dos maiores contaminadores do meio ambiente.

4.4. Tratamentos do efluente têxtil

Os efluentes têxteis apresentam características bastante variáveis, já que o seu processo de produção é muito complexo. Desta forma, seu tratamento acaba sendo difícil de ser realizado por meios convencionais como os processos biológicos aeróbios e anaeróbios que mostram alguns inconvenientes crônicos, representados pela produção de lodo excessivo, baixa capacidade de remoção de cor, e extrema dependência da composição do resíduo (MORAES, 2015).

4.4.1. Tratamentos convencionais

Segundo Kunk (2002) e Cogo (2011), as principais técnicas utilizadas para tratamento de efluentes têxteis estão fundamentadas em princípios físico-químicos, através de precipitação-coagulação, e biológicos por meio de lodos ativados. O sistema apresenta uma eficiência de, aproximadamente, 80% na remoção na carga de corantes.

4.4.1.1.Tratamento físico

Nos processos físicos, a aplicação de operações físicas é o princípio que predomina na remoção dos contaminantes. Os principais tratamentos físicos são representados por processos de separação de fases (decantação, sedimentação, filtração, centrifugação e flotação), transição de fases (destilação, evaporação, cristalização), transferência de fases (extração por solventes, adsorção) e separação molecular (hiperfiltração, ultrafiltração, osmose reversa e diálise), conforme Sottoriva (2002).

Os processos físicos, em sua maioria, fazem a depuração ou separação do contaminante do efluente. Entretanto, o problema persiste, visto que não há destruição destes compostos, ocorrendo somente transferência de fase e redução de volume (FREIRE, 2000).

4.4.1.2.Tratamento químico

Baseiam-se na utilização de produtos químicos para a degradação das espécies poluentes. Dentre os mais comuns estão: floculação, precipitação química, oxidação química, cloração e correção do pH (SOTTORIVA, 2002).

O tratamento físico-químico por coagulação-floculação de águas residuais decorrentes dos processos de indústrias como curtume, celulose, papel e têxteis, tem sido empregado na maioria das vezes, a nível primário, necessitando posteriormente de um tratamento biológico de depuração com o objetivo de reduzir a carga orgânica afluyente (NUNES, 1996).

4.4.1.3.Tratamento biológico

Os processos biológicos utilizados com maior frequência estão representados pelos sistemas de lodos ativados (Figura 2). Este processo consiste na agitação dos efluentes na presença de microrganismos e ar, durante o tempo necessário para metabolizar e flocular uma grande parte da matéria orgânica. Infelizmente, o processo apresenta o grande inconveniente de ser bastante susceptível à composição do efluente (cargas de choque), além de produzir um grande volume de lodo (KUNZ, 2002).

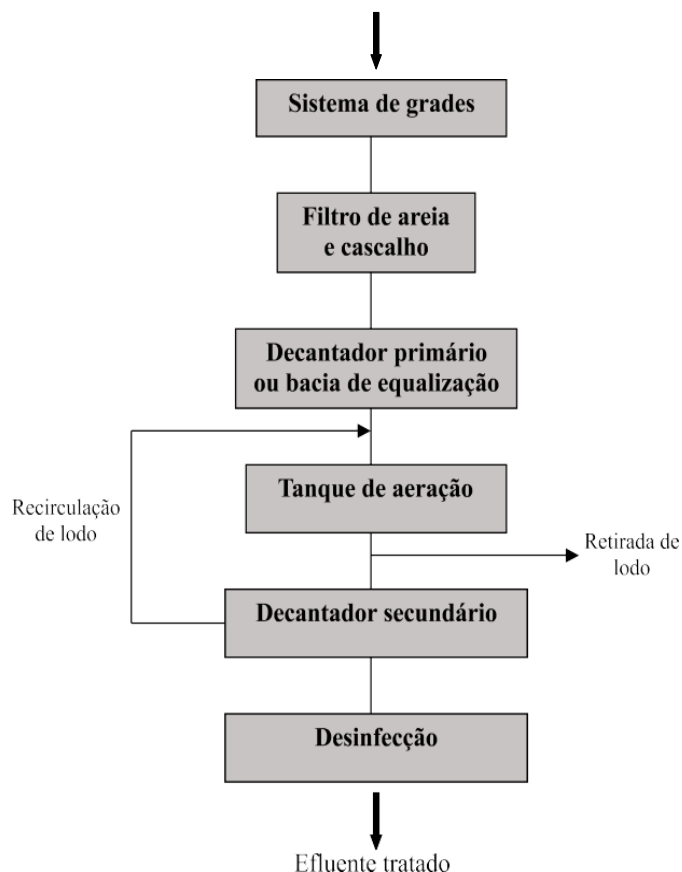


Figura 2. Esquema de uma estação de tratamento de efluentes utilizando lodo ativado, tipicamente empregada para tratamento de efluente têxtil. Fonte: Kunz (2002).

4.4.2. Tratamento de efluente têxtil através de processos de eletrocoagulação

Técnicas de eletrocoagulação (EC) têm sido utilizadas por serem muito eficazes na remoção de DQO e descoloração de efluentes com baixo consumo de energia. Têm a vantagem de eliminar as pequenas partículas coloidais, além de produzir uma quantidade relativamente baixa de lamas, tornando os métodos eletroquímicos uma alternativa simples e eficiente para a purificação de muitos tipos de águas e efluentes (SOUZA et al., 2016).

O processo de eletrocoagulação ocorre quando o anodo (eletrodo positivo) sofre oxidação liberando íons metálicos e no catodo ocorre a redução, ocorrendo a formação de íons hidroxilas e hidrogênio, através da hidrólise da água (Figura 3). Os íons metálicos decorrentes da dissolução do anodo se combinam com os íons hidroxila, formando os hidróxidos metálicos, que favorecem a formação de flocos por desestabilização dos contaminantes ou partículas suspensas. Os flocos formados podem ser separados do líquido por sedimentação ou flotação dependendo da densidade dos mesmos (ZHANG et al., 2006; BENSADOK et al., 2007).

Koparal et al. (2002) definem eletrocoagulação como um processo que consiste em produzir hidróxidos metálicos nas águas residuais por eletrodissolução de anodos solúveis, geralmente feitos de ferro ou alumínio.

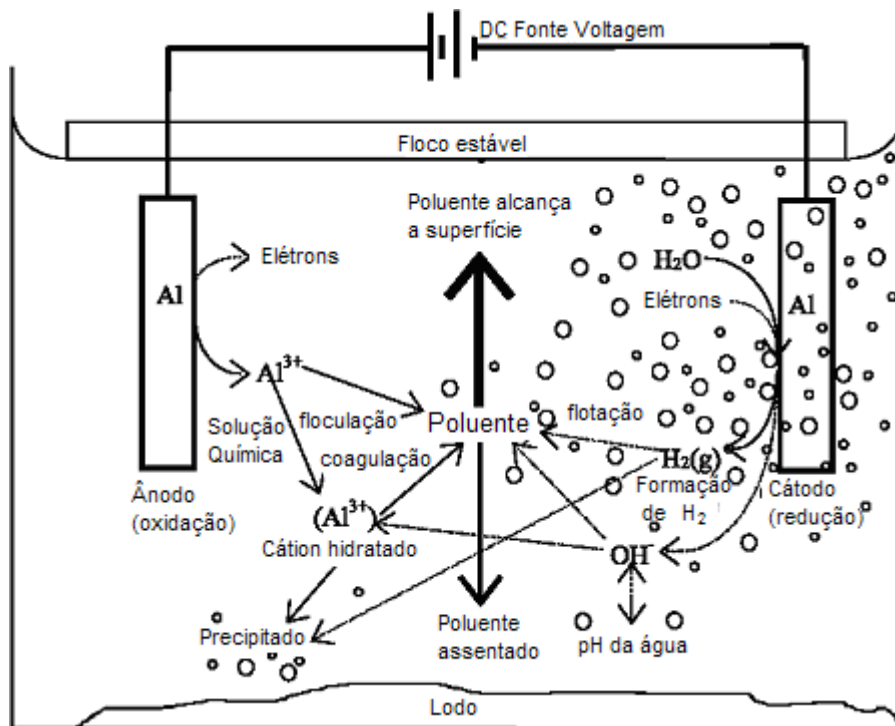


Figura 3. Interações observadas durante a eletrocoagulação. Fonte: Holt (2002).

Yousuf et al (2001) descreve algumas vantagens relacionadas ao sistema de EC:

- Requer equipamento simples e fácil de operar;
- A EC gera efluentes com uma menor quantidade de sólidos dissolvidos, comparado com tratamentos químicos;
- Evita a adição de substâncias químicas, diminuindo a possibilidade de poluição secundária;
- As bolhas de gases produzidos durante a eletrólise podem favorecer o processo de eletroflotação, onde as partículas sólidas são carregadas para o topo da solução. Assim, tem-se uma maior facilidade de concentração, coleta e remoção dos poluentes;
- O lodo produzido no processo é facilmente removido do efluente tratado e é gerado em pequenas quantidades, quando comparado a outros processos.

Algumas desvantagens do processo descritas por Yousuf et al. (2001) são as seguintes:

- Os eletrodos são eletro-dissolvidos nas correntes efluentes e precisam ser constantemente substituídos;
- O alto consumo de energia elétrica eleva o custo operacional do processo;
- Uma camada de óxido pode ser formada na superfície do cátodo, levando à perda de eficiência do processo (alumínio, por exemplo);
- O efluente necessita ter alta condutividade elétrica.

4.4.2.1. Resultados da eletrocoagulação aplicada ao tratamento de efluentes têxteis

Daneshvar et al. (2003) utilizando a EC para descoloração de corantes, testaram o efeito do pH inicial, a velocidade de agitação, a concentração de corante, a distância dos eletrodos, a densidade de corrente e a temperatura da água. Obtiveram resultados experimentais onde a cor do corante, em fase aquosa foi removida de forma eficaz (> 98%) e também a DQO foi reduzida (> 84%).

Bayramoglu et al. (2004) utilizaram eletrodos de ferro e alumínio na degradação de efluente têxtil e puderam observar que a remoção de DQO foi praticamente a mesma com ambos eletrodos, porém os autores observaram degradação melhor do efluente em pH neutro ou levemente alcalino, com eletrodo de ferro.

Em se tratando da degradação da matéria orgânica, Li e Peng (1996) obtiveram uma eficiência de remoção de DBO entre 40 e 60% empregando coagulação química, oxidação eletroquímica e lodo ativado, em processo contínuo, utilizando efluente têxtil contendo alta carga orgânica (entre 800 e 1600 mg L⁻¹) e forte coloração. Resultados semelhantes foram observados por Henriques (2004), que após o efluente têxtil passar por tratamento, a degradação da matéria orgânica não atingiu valores acima de 50%.

4.5. Lodo Têxtil

Para Kacan (2016), o lodo é o subproduto de águas residuais. Existem basicamente dois tipos de lodo, o de esgoto doméstico e o de efluente industrial. O doméstico é descarregado nas instalações municipais e é uma mistura de materiais orgânicos e inorgânicos. Por outro lado, o lodo industrial difere de setor para setor. (BALAN; MONTEIRO, 2001).

Segundo Anwar et al. (2018), o lodo têxtil é o subproduto gerado inevitavelmente nas estações de tratamento de águas residuais de tingimentos têxtil. No mundo, a produção desse resíduo tem crescido rapidamente nas últimas décadas devido a rápida expansão do setor têxtil (VANHULLE et al., 2008; LIANG et al., 2013). Só em Bangladesch, as indústrias têxteis produzem, aproximadamente, 2,82 milhões de m³ de águas residuais por dia, o que corresponde à geração de 1,14 kg de lodo sólido por m³ de efluentes (ANWAR et al., 2018).

O lodo têxtil contém uma alta quantidade de matérias orgânicas (como exemplos, orgânicos perecíveis, aditivos, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos-HAP, aminas aromáticas) e inorgânicas, como íons metálicos (especialmente alumínio e ferro), metais pesados (por exemplo, zinco, cobre, chumbo, cromo), corantes aromáticos, além de fósforo, nitrogênio e potássio originário dos produtos químicos usados nas várias etapas do processamento têxtil, causando sérios problemas ambientais, e resultando em danos à saúde humana e dos animais (BALAN E MONTEIRO, 2001; SCHWARZENBACH et al., 2006; ROSA et al., 2007; SOHAIMI et al., 2017; MAN et al., 2018; XIE et al., 2018). No entanto, as características finais desse resíduo podem variar muito, dependendo dos agentes coagulantes utilizados no processo de tratamento do efluente (ANNADURAI et al., 2003; SMITH et al., 2009; KHURSHEED; KAZMI, 2011).

Em vista desse cenário, se faz necessários buscar melhores alternativas para o descarte do lodo têxtil. Nos países desenvolvidos existem diferentes métodos de tratamento para reduzir o volume do lodo, bem como, para minimizar os potenciais riscos à saúde associados ao descarte e ao manuseio desse material (ANWAR et al., 2018). Além da disposição final do lodo em aterros sanitários, há um crescente interesse na tentativa de reutilizar esse subproduto (ZHAN; POON, 2015). A produção de biocarvão, materiais cerâmicos, compósitos cimentícios e a geração de biogás a partir da digestão aeróbia do lodo têxtil, são exemplos de reutilização que reduzem a quantidade de resíduos depositado em aterros sanitários, contribuindo para um meio ambiente melhor, além de agregar valor a esse produto (SOHAIMI et al., 2017).

4.6. Alternativas de aplicação do lodo têxtil

Na literatura é possível encontrar diversas alternativas de aplicação do lodo gerado no tratamento do efluente de processamento têxtil. A seguir serão analisados brevemente as possibilidades de aplicação desse resíduo gerado no tratamento de efluentes têxteis, que busquem a reutilização desse material em diversos setores, diferente de seu

descarte em aterros sanitários, com posterior elaboração de tabela comparativa acerca de qual método é mais viável, no que tange à eficiência e custo/benefício.

4.6.1. Pirólise aplicada ao tratamento e reutilização de lodo têxtil

A pirólise é uma tecnologia onde acontece o processo de decomposição térmica de material orgânico na ausência de oxigênio em uma temperatura elevada, na faixa de 300 a 900° C. Neste processo, o lodo é convertido em carvão, óleos de pirólise, vapor d'água e gases combustíveis (HAN et al., 2014). Nos últimos anos, a pirólise tem sido usada com uma técnica de tratamento sustentável para lodos de diferentes fontes, uma vez que esse material tem grande potencial de atingir simultaneamente a geração de energia, reciclagem de nutrientes, imobilização de metais pesados e a proteção ao meio ambiente (CHEN et al., 2015). Esse tratamento pode diminuir o volume de lodo, matar ovos de organismos parasitas, degradar os patógenos e produzir gás de origem renovável (MÉNDEZ et al., 2014).

4.6.1.1. Biocarvão derivado do lodo têxtil

Um produto derivado da pirólise do lodo têxtil é o biocarvão, que apresenta características alcalinas e com estruturas de poros bem desenvolvidas. O biocarvão derivado do lodo têxtil tem sido amplamente utilizado como fertilizante de solos (CHEN et al., 2008; SOHI, 2012; XIAO e CHEN, 2017).

Sohaimi et al. (2017), analisou a utilização de biocarvão resultante da pirólise de lodo têxtil para a remoção de óleos através da adsorção. Para a obtenção do biocarvão, os autores deixaram o lodo secando em uma estufa a temperatura constante de 105 °C por, aproximadamente, 72 h para remover completamente a sua umidade. Após a secagem total, o lodo foi peneirado para obter partículas com tamanho médio entre 0,45 e 0,50 mm. O passo seguinte foi submeter o lodo seco e peneirado ao processo de pirólise em diferentes temperaturas: 105 °C, 200 °C, 400 °C e 700 °C. Foram testados os quatro tipos de biocarvão para remover óleos de águas residuais. O BC700 (biocarvão obtido a pirólise de 700 °C) foi o que apresentou maior potencial para ser usado como adsorvente de óleo de águas residuais.

4.6.1.2. Adsorventes gerados através de lodo têxtil

Outro estudo que utilizou o processo de pirólise de lodo têxtil foi realizado por Sonai et al. (2016), que teve como objetivo a remoção do corante Vermelho Reativo 2 por meio da adsorção. Para a preparação do adsorvente, os autores deixaram o lodo secando por três dias no sol e após esse tempo, foi levado para um forno a 80 °C por um período de 4h.

Após a secagem completa do lodo, foram selecionadas frações de 0,45 mm para o experimento. O tratamento térmico se deu à 500 °C por um período de 4h. Durante as análises, os autores puderam observar que o pH desempenha um papel muito importante na adsorção do corante, onde amostras com pH ácido apresentaram um melhor resultado, chegando a quase 100% na remoção do corante com pH inicial 2.

4.6.1.3. Bio-óleo resultante da pirólise de lodo têxtil como combustível alternativo

Scheibe (2016) caracterizou os óleos resultantes da pirólise do lodo têxtil e verificou que os sólidos carbonosos obtidos no processo a 310 °C possuem capacidade para serem utilizados como combustíveis alternativos. Uma maneira de aplicação seria o uso do bio-óleo como fonte de combustível alternativo. Essa aplicação foi testada, e tem sido verificado que esse material pode ter utilidade no aquecimento das caldeiras que alimentam o processo industrial. A autora, ainda verificou que o óleo pirolítico analisado apresentou um poder calorífico superior ou próximo aos dados da literatura para o álcool etílico hidratado.

4.6.1.4. Bio-óleo resultante da pirólise de lodo têxtil usado como antiespumante

Scheibe et al. (2018), estudaram a utilização de bio-óleos resultantes da pirólise de lodo têxtil como antiespumante. Nos testes foram utilizadas amostras de dois bio-óleos que passaram pelo processo de pirólise em diferentes temperaturas, o OL_310 para a fração bio-óleo obtida com a pirólise realizada a 310 °C e OL_500 para a fração de bio-óleo obtida com pirólise realizada a 500 °C. Durante o estudo, cada tipo de bio-óleo foi armazenado em períodos de 7 dias e 2 meses. Na realização dos testes foram analisados o comportamento em concentrações de 1 e 2ml, de cada bio-óleo para a função antiespumante. Os autores concluíram que as amostras de 1 e 2 ml de OL_500 foram os mais eficazes como antiespumantes, como mostra a Figura 4. Esse produto pode ter aplicação na própria indústria têxtil para combater espuma formada durante o tratamento de suas águas residuais.

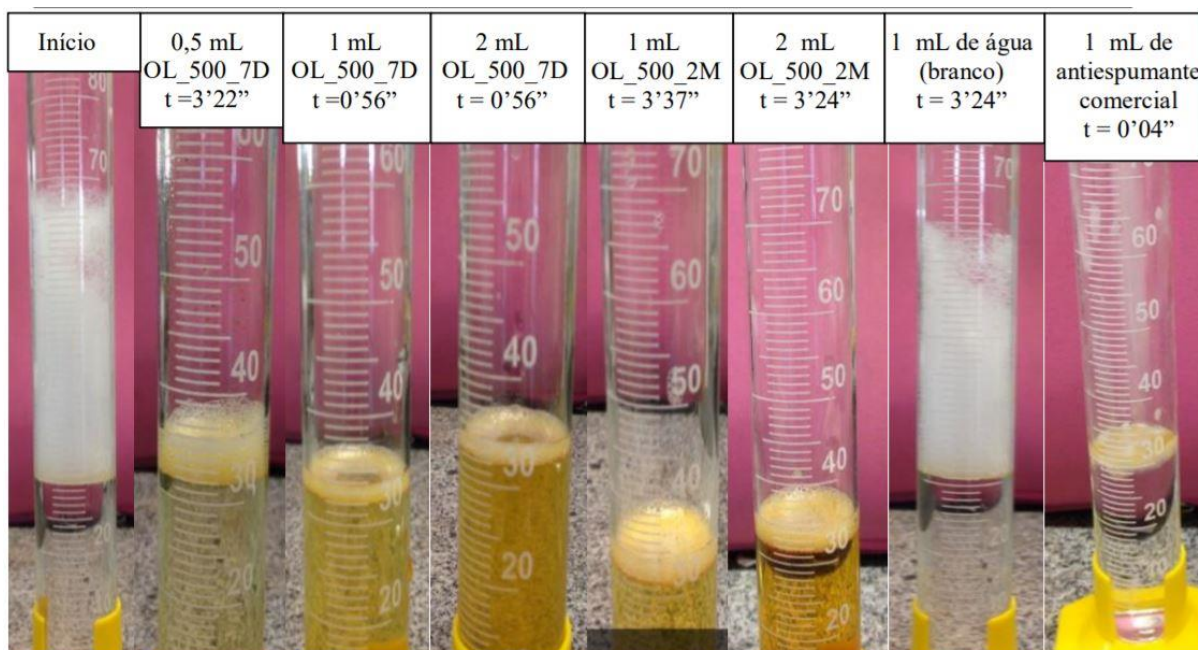


Figura 4. Teste antiespumante com a fração de bio-óleo obtida com pirólise a 500 °C. Fonte: Scheibe et al. (2018).

No geral, a aplicação do método de pirólise é uma abordagem válida para a gestão de lodos têxteis, estabelecendo uma política eficaz no sistema energético e contribuindo para uma sociedade cada vez mais sustentável (WANG et al., 2019).

4.6.2. Lodo de origem têxtil incorporado em materiais de construção

A utilização do lodo de origem têxtil na fabricação de materiais de construção não apenas torna esse resíduo útil, como também, resolve o problema do descarte de uma grande quantidade em aterros sanitários comprometendo os recursos naturais. Muitas fábricas do setor têxtil optam por praticar a eliminação do material em aterros, mas a reutilização deste lodo na fabricação de materiais de construção é uma alternativa inovadora que vem sendo muito estudada na última década (HOSSAIN et al., 2018).

4.6.2.1. Fabricação de tijolos ecológicos utilizando lodo têxtil

Hossain et al. (2018), experimentaram a utilização de lodos provenientes do tratamento de efluentes da indústria têxtil para a fabricação de tijolos ecológicos. No teste, o lodo foi seco e peneirado em pequenas partículas. Após a preparação do lodo, esse foi incorporado em diferentes proporções (50%, 25% e 10%) na massa de argila para a fabricação dos tijolos. Posteriormente foram assados em um forno durante 24h a uma temperatura de 450 °C e, logo após, foram secos ao sol. Foram feitos ensaios de resistência a flexão e impacto, além de testes de absorção de água. Os autores concluíram que, com até 50% de lodo

incorporado atendem os requisitos para fabricação de tijolos, com 1,5 MPa de resistência a flexão, 6,41 kJ/m² de resistência a impactos e uma absorção de água de 22,72%. Desta maneira, a incorporação de até 50% do lodo têxtil na produção de tijolos ecológicos é recomendada, aumentando o uso de lodo na fabricação de materiais de construção e diminuindo o seu problema de disposição final.

4.6.2.2. Adição lodo têxtil na produção de blocos cerâmicos de vedação

Aquino et al. (2015), estudaram a incorporação de lodo têxtil em diferentes frações para a produção de blocos cerâmicos de vedação. Para a fabricação dos corpos de prova, o lodo têxtil foi seco, peneirado e incorporado em diferentes proporções (2%, 4%, 6%, 8% e 10%) à massa argilosa. Após esse processo, os corpos de prova foram colocados para secar em uma estufa a 60 °C por 24h. Depois desse passo, os corpos de prova foram umidificados e submetidos a uma pressão de 3 toneladas. Em seguida foram colocados em uma estufa a 110 °C por 24 h. Na sequência foram queimados em três temperaturas diferentes: 950 °C, 1.050 °C e 1.150 °C.

Nos testes, foram analisados o comportamento dos blocos frente a ensaios de absorção de água e tensão de ruptura (Figura 5). Os autores concluíram que à absorção de água aumentou com acréscimo de lodo, proporcionando peças mais porosas e consequentemente menos resistentes. Verificou-se que a temperatura de queima influenciou também nas propriedades das peças. O corpo de prova com 2% de lodo têxtil, apresentou um aumento na resistência à flexão e diminuiu a absorção de água quando sua temperatura de fabricação mudou de 950 °C para 1.150 °C. Os autores concluíram que apenas 2% de adição de lodo em massas argilosas podem ser utilizadas pelas indústrias de cerâmica vermelha na produção de blocos cerâmicos de vedação, que em escala industrial pode ser bastante considerável.

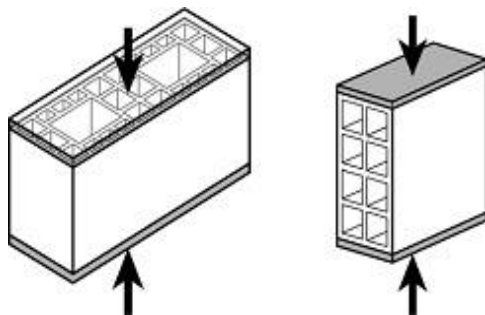


Figura 5. Posição que os corpos de provas devem ser ensaiados. – Representação esquemática (Fonte: Norma NBR 15270).

Soares (2016), também estudou a incorporação de lodo têxtil na fabricação de blocos cerâmicos de vedação. Para a fabricação dos blocos, a autora utilizou três formulações diferentes de lodo (10%, 20% e 30%) e argila, além do corpo de teste comparativo com 0% de lodo, como mostra a Figura 6. Para cada 15kg da massa representativa, foram feitas devidas proporções de lodo/argila, como mostra a Tabela 1.

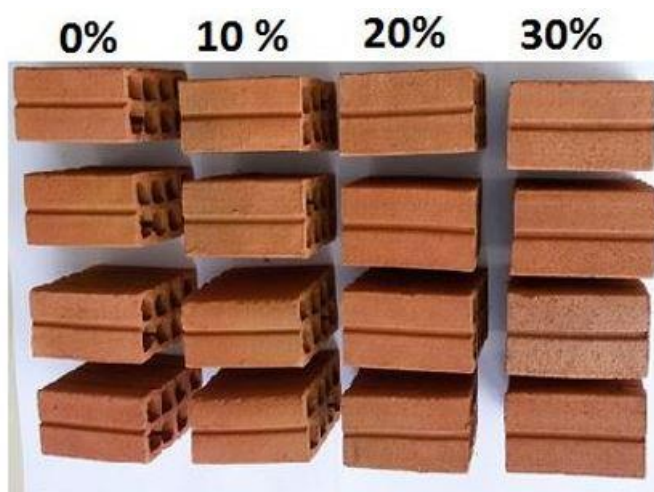


Figura 6. Blocos cerâmicos de vedação após a sinterização a 950°C. Fonte: Soares (2016).

Tabela 1. Formulações para produção dos corpos de prova. Fonte: Soares (2016).

Formulação	Lodo (kg)	Argila (kg)
0%	15,0	0,0
10%	1,5	13,5
20%	3,0	12,0
30%	4,5	10,5

Após a mistura, apenas as massas cerâmicas nas proporções de 20% e 30% foram levadas para secagem natural. A formulação de 20% foi seca em um período de 24h e 48h foram precisas para a de 30%. Esse procedimento foi necessário, devido a umidade em excesso. Após da secagem, os corpos de prova foram levados para o forno tipo mufla para a sinterização. As temperaturas de sinterização utilizadas foram: 850 °C, 900 °C e 950 °C.

Foram realizados testes de absorção de água, resistência a compressão e a flexão. Os testes de absorção revelaram uma boa absorção de água dos corpos de prova, quase todos dentro do limite estabelecido pela NBR 15270/2005. Os valores variaram entre 10,57% e

23,04%. A absorção de água de 23,04% foi encontrada nos tijolos assados à 850°C e com proporção de 30% lodo/argila, ficando acima do valor máximo estabelecido pela norma (22%).

Percebeu-se que a adição do lodo diminuiu resistência a flexão, que quanto maior o seu valor, melhor será a qualidade do material. A autora concluiu que o corpo de prova com 10% de lodo e sintetizado a 900 °C apresentou os melhores valores em relação a resistência a flexão. A maior resistência a compressão foi observada nos tijolos puros (0% de lodo). A medida que o lodo foi adicionado a resistência a compressão diminuiu e não houve uma alteração significativa com as temperaturas de sinterização. Porém, os tijolos com 10 e 20% de adição de lodo independente da temperatura de sinterização, apresentaram valores de resistência a compressão acima do recomendado pela NRB 15.270/2005, que é de 1,5 MPa.

Diante dos resultados obtidos conclui-se que os produtos cerâmicos que podem ter aplicação na indústria de cerâmicas, sem causar danos ao meio ambiente, são aqueles com um limite máximo de 10% de adição do lodo proveniente da indústria têxtil em temperaturas de queima entre 850 °C e 900 °C.

4.6.2.3. Blocos cerâmicos acústicos produzidos com incorporação de lodo de origem têxtil

Castro et al. (2015), analisaram a incorporação de lodo de origem têxtil em blocos cerâmicos acústico. No trabalho, os autores investigaram o comportamento de blocos cerâmicos acústicos (Figura 7) produzidos a partir da incorporação do lodo têxtil. Durante o estudo, os pesquisadores coletaram o lodo de 12 lavanderias industriais têxtis da região da cidade de Maringá (PR). Esses resíduos passaram por processo de secagem e encontravam-se prontos para a destinação final em aterros industriais. Então foram produzidas amostras de blocos cerâmicos acústicos utilizando formulações com incorporação em massa seca de 10, 15%, 20%, 25%, 30% e 35% de lodo na massa seca de argila cerâmica. Além disso, foram produzidos blocos controle, ou seja, fabricados somente com argila. Após a incorporação, os blocos foram secos e passaram pelo processo de queima.

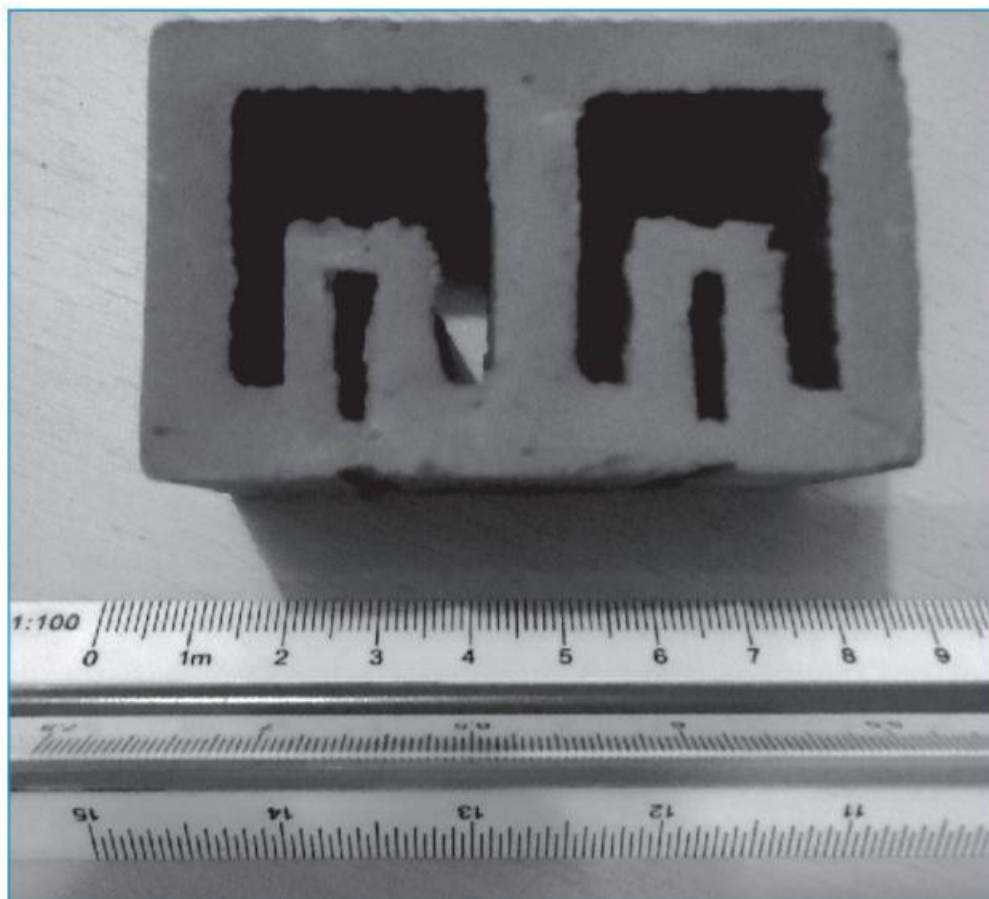


Figura 7. Bloco cerâmico acústico. Fonte: Castro et al. (2015).

Depois de prontos, os blocos passaram por ensaios de compressão, absorção de água e ensaios químicos de lixiviação e solubilização, para verificar a capacidade de transferência das substâncias químicas presentes nos blocos para o meio. Os resultados com relação à resistência característica à compressão, os blocos cerâmicos acústicos fabricados em todas as formulações apresentaram valores acima do mínimo exigido pela NBR 15.270 (2005), que é de 3,0 MPa. Em relação aos ensaios de absorção de água, os blocos produzidos com incorporação máxima de 25% de lodo, com exceção do bloco com incorporação de 5%, apresentaram-se dentro dos limites estabelecidos na NBR 15.270-3 (2005). Os autores observaram que a proporção máxima de 20% de lodo incorporado na massa cerâmica pode levar à obtenção de um produto com maior garantia de qualidade técnica, sendo essa a formulação considerada a máxima recomendada.

Os ensaios químicos de lixiviação e solubilização permitiram comprovar à estabilização dos metais presentes no resíduo incorporado na massa argilosa em todas as formulações de 5%, 10%, 15% e 20% de lodo têxtil. Os resultados mostraram que as

concentrações de metais nos extratos lixiviados e solubilizados dos blocos cerâmicos ficaram abaixo dos limites definidos pela NBR 10.004 (2004) da ABNT.

4.6.2.4. Utilização de lodo têxtil para construção de pavimentos em escala laboratorial

Guba et al. (2016), verificaram que o lodo de origem têxtil pode ser usado na construção de blocos de pavimentação. A areia pode ser substituída pelo resíduo na preparação da massa-base para a fabricação dos blocos de pavimentação. Os autores elaboraram em escala laboratorial, blocos de pavimento para construção de calçadas, usando caixas de madeira para moldar os blocos, e substituindo a areia da massa-base por lodo residual têxtil. Os blocos de pavimento foram construídos usando proporções de 50% lodo residual (lodo têxtil resultante da geração de biogás) e 50% de areia. Outro teste foi feito com 50% lodo bruto e 50% areia, como mostra a Figura 8. Para comparar a eficiência dos blocos construídos usando lodo, foram fabricados blocos utilizando apenas areia na massa-base. Após a mistura do lodo com a areia, os blocos foram moldados em caixas de madeiras e depois de prontos (Figura 9) foram cobertos com polietileno para proteção contra chuva.



Figura 8. Mistura de lodo com areia. Fonte: Guba et al. (2016).

Os autores concluíram que tanto o lodo têxtil bruto, quanto o residual, podem substituir a areia na construção de blocos de pavimentação, sem comprometer a qualidade do pavimento, reduzindo assim a quantidade de lodo descartado de forma irregular, agregando valor ao mesmo e contribuindo para um desenvolvimento cada vez mais sustentável.



Figura 9. Blocos de pavimento construído em escala de laboratório. Fonte: Guba et al. (2016).

4.6.2.5. Estudo sobre a substituição do cimento por lodo têxtil em argamassas de cimento

Jeevanandam et al. (2015), estudaram o comportamento da argamassa quando o cimento é substituído, parcialmente, por lodo de origem têxtil. Para o estudo, o lodo foi seco em estufa de ar quente por 24 horas a 100 °C. Após a secagem, o lodo foi pulverizado e, em seguida, peneirado. Para a confecção dos blocos de ensaio utilizaram-se moldes de aço com dimensões de 70,6 mm x 70,6 mm x 70,6 mm. O lodo foi utilizado nas proporções de 0% (controle), 10%, 20%, 30%, 40%, 50% e 60% para uma substituição parcial de cimento. O teor de água na pasta de lodo de cimento variou de 21% a 35%. As amostras foram submetidas a 7, 14 e 28 dias de cura com água, visando à hidratação do concreto com o objetivo de diminuir os efeitos da evaporação prematura da água na estrutura concretada, evitando o surgimento de fissuras e trincas. As amostras foram curadas em temperatura ambiente e umidade relativa (UR) de 60%.

Foram feitos testes de compressão nos blocos de argamassa e os autores verificaram que a medida que a percentagem de substituição de cimento por lodo, os blocos reduziam sua resistência à compressão. Os autores concluíram que o lodo resultante do tratamento de efluentes têxtis tem potencial para ser reutilizado em até 20% de substituição do cimento, podendo ser usado como material de construção em argamassas.

4.6.3. Geração de biogás a partir de lodo têxtil

Guba et al. (2016), analisou a geração de biogás durante a degradação do lodo oriundo do tratamento de efluentes têxteis. Os autores fizeram 5 testes em escala laboratorial, como mostra a Figura 10, e um teste feito em um digestor de tambor, porque uma quantidade relativamente grande de lodo foi usada.



Figura 10. Planta de biogás em escala laboratorial. Fonte: GUBA et al. (2016).

No primeiro teste, 1,5 kg de lodo foi bem misturado com 1 L de água e 200g de esterco de vaca. Depois disso, 1 g de bicarbonato de sódio (NaHCO_3) foi adicionado manter o pH entre 8 e 8,5. No segundo experimento, 500g de lodo foi misturado com 50g de esterco de vaca, 1 L de água e 4 g de NaHCO_3 . Os testes foram repetidos mudando a proporção de lodo, esterco, água e bicarbonato de sódio.

Na digestão anaeróbia das diferentes concentrações de lodo têxtil, os metais pesados presentes no meio reduziram em uma faixa de 55%-96%. Entre eles, Cromo (Cr) 96%, Ferro (Fe) 72%, Chumbo (Pb) 55% e Cádmio (Cd) 65% foram diluídos após geração de biogás. E a DQO e DBO₅ reduziram, aproximadamente, 65%.

Os autores concluíram que a quantidade de biogás gerado depende da proporção de lodo inicial no digestor. Quanto maior a quantidade de lodo têxtil, maior a produção de biogás, como mostra a Tabela 2. Sendo assim, a geração de biogás através de lodo têxtil é um método sustentável, ecológico e com valor econômico.

Tabela 2. Quantidade de biogás gerado.

Experimento	Quantidade de biogás produzida
1,5 kg de lodo têxtil misturado a 200g de esterco de vaca.	Após 17 dias foram gerados 525 ml de biogás.
1 kg de lodo têxtil misturado a 150g de esterco de vaca.	Após 15 dias foram gerados 375 ml de biogás.

4.6.4. Produção de adubo utilizando lodo têxtil e esterco de vaca através da vermicompostagem

A vermicompostagem é uma técnica semelhante a compostagem, pois envolve processo de estabilização de resíduos orgânicos e inorgânicos, mas com a adição de minhocas. Esse processo tem recebido uma atenção especial, pois se trata de um método seguro, eficaz e sustentável para converter o lodo perigoso em nutrientes enriquecidos. A vermicompostagem refere-se ao processo de degradação bioquímica onde os microrganismos são usados para converter resíduos em vermicompostos (SIM et al., 2010; LEE et al., 2018).

Yadav e Sharma (2017), estudaram a vermicompostagem de lodo de tingimento têxtil e esterco de vaca utilizando minhocas da espécie *Eisenia Foetida* para a produção de estrume de alta qualidade. O lodo têxtil foi misturado em diferentes proporções com o esterco de vaca, como mostra a Tabela 3. A mistura foi colocada em um reator de vermicompostagem com capacidade para 1,5 L. Para cada combinação, 14 reatores idênticos foram preparados. Após essa fase, 50 minhocas adultas da espécie *Eisenia Foetida* foram introduzidas em cada reator. As superfícies dos reatores expostos à atmosfera foram fechadas com sacos plásticos e mantidos em local escuro a uma temperatura controlada de 25 °C. O material foi planejado para ser analisado nos dias 1, 15, 30, 45, 60, 75 e 90 após a fase de pré-compostagem (antes da introdução das minhocas). As minhocas foram introduzidas no dia 1.

Tabela 3. Combinações de lodo e esterco de vaca. Fonte: Yadav e Sharma (2017).

Combinação	% de lodo	(g) de lodo	% de esterco	(g) de esterco
C1	0	0	100	500
C2	10	50	90	450
C3	20	100	80	400
C4	30	150	70	350

Os autores analisaram pH (uma vez que sua variação afeta a atividade microbiana), condutividade elétrica (já que a degradação do lodo libera sais minerais tais como amônio, fosfato, aumentando assim, a condutividade elétrica), carbono total (parâmetro importante para o metabolismo dos micróbios, já que eles utilizam o carbono como a fonte de energia), nitrogênio total (nitrogênio é utilizado pelos microrganismos para a construção da estrutura celular e para a síntese de matéria celular, aminoácidos e proteínas).

Concluíram que todas as combinações de lodo/esterco podem ser decompostas pela técnica da vermicompostagem, para gerar adubo em boa quantidade e qualidade. Também pôde-se observar a baixa mortalidade das minhocas, porém na combinação C4 houve uma redução considerável no peso médio das minhocas adultas. A produção de filhotes e casulos foi mais alta na combinação C3. As combinações C2 e C3 são as proporções mais adequadas para a vermicompostagem de lodos de tingimento têxtil.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos em relação as vantagens e desvantagens relacionadas a cada aplicação dada ao lodo do efluente industrial têxtil.

Tabela 4. Vantagens e desvantagens das aplicações de lodo têxtil

Aplicação	Vantagens	Desvantagens
Biocarvão	<ul style="list-style-type: none"> - Pode ser utilizado como fertilizante no solo; - Pode ser utilizado como adsorvente de óleos presentes no meio aquático; - Baixo custo de produção e fácil de operar; - Necessita de apenas 100g de biocarvão para remover 1 L de óleo; - Agrega valor econômico ao lodo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Após o biocarvão ser utilizado com adsorvente, é necessário um tratamento final adequado para o seu descarte, uma vez que agora contém concentrações consideráveis de óleo; - Seu processo de obtenção é bastante trabalhoso e demanda muito tempo.
Adsorventes	<ul style="list-style-type: none"> - Valor econômico 	<ul style="list-style-type: none"> - Como no caso do

	agregado ao produto. - Remove quase que 100% do corante presente na água; - Baixo custo de produção; - Agrega valor econômico ao lodo.	biocarvão, necessita de um tratamento final após desempenhar seu papel com adsorvente, removendo as concentrações de corante presentes na água; - Seu processo de obtenção é bastante trabalhoso e demanda muito tempo.
Bio-óleo como combustível alternativo	- Pode ter utilidade nas caldeiras que alimentam o processo industrial; - Apresenta um poder calorífico superior ou próximo aos dados da literatura para o álcool etílico hidratado; - Agrega valor econômico ao lodo.	- Alto custo de produção, o que tem tornado o processo difícil de ser aplicado em escala real. - Seu processo de obtenção é bastante trabalhoso e demanda muito tempo; - Gera gases de efeito estufa durante sua combustão.
Bio-óleo como antiespumante	- Apresenta alto poder antiespumante; - Pode ter utilidade na própria cadeia têxtil para combater a espuma formada durante o tratamento de seus efluentes.	- Alto custo de produção, ficando com sugestão para estudos futuros a sua viabilidade econômica; - Seu processo de obtenção é bastante trabalhoso e demanda muito tempo
Tijolos ecológicos	- Os tijolos estudados atendem as exigências da Norma; - Reduz consideravelmente a quantidade de lodo que	- Metais pesados presentes no lodo podem permanecer nos tijolos ecológicos após sua fabricação;

	<p>seria descartada em aterros sanitários;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Agrega valor econômico ao lodo têxtil; - Baixo custo de fabricação. 	<ul style="list-style-type: none"> - Não podem ser usados para construções que exijam mais de 1,5 Mpa de resistências a flexão, já que os tijolos ecológicos com incorporação de 50% de lodo atendem apenas a exigência mínima de NBR 15.270.
Blocos cerâmicos de vedação	<ul style="list-style-type: none"> - Reduz a quantidade de lodo descartado de forma inadequada em aterros sanitários; - Agrega valor econômico ao lodo têxtil; - O lodo apresenta um teor de umidade considerável, reduzindo a quantidade de água usada no processo de fabricação; - Baixo custo de fabricação. 	<ul style="list-style-type: none"> - A incorporação máxima de lodo têxtil para a fabricação dos blocos cerâmicos de vedação variou de 2 a 10%, dependendo do estudo. Embora em escala real seja um volume considerável, se faz necessários novos estudos para que se possa incorporar mais resíduo têxtil na fabricação desses blocos.
Blocos cerâmicos acústicos	<ul style="list-style-type: none"> - Reduz a quantidade de lodo descartado de forma inadequada em aterros sanitários; - Agrega valor econômico ao lodo têxtil; - Estabilização dos metais pesados constituintes do resíduo; - Todas as formulações com incorporação de lodo 	<ul style="list-style-type: none"> - A incorporação máxima do lodo têxtil na construção de blocos cerâmicos acústico é de 20%; - Quanto maior a proporção de lodo adicionado aos blocos, menor a resistência a compressão e maior a absorção de água.

	<p>têxtil apresentaram valores de resistência característica à compressão acima do mínimo exigido pela NBR 15.270 (2005), que é de 3,0 Mpa;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Baixo custo de fabricação. 	
Construção de pavimentos	<ul style="list-style-type: none"> - Reduz a quantidade de lodo descartado de forma inadequada em aterros sanitários; - Agrega valor econômico ao lodo têxtil; - Diminui a extração de areia para a fabricação dos blocos de pavimentação, contribuindo ainda mais com um meio ambiente equilibrado; - Baixo custo de fabricação. 	
Argamassas de cimento	<ul style="list-style-type: none"> - Reduz a quantidade de lodo descartado de forma inadequada em aterros sanitários; - Agrega valor econômico ao lodo têxtil; - Baixo custo de fabricação. 	<ul style="list-style-type: none"> - Quanto maior a proporção de lodo adicionado aos blocos, menor a resistência a compressão; - O tempo de endurecimento do lodo não é tão bom quanto o cimento.
Biogás	<ul style="list-style-type: none"> - Diluição dos metais 	<ul style="list-style-type: none"> - Necessita da

	<p>pesados e a redução da DBO e DQO presentes no lodo de origem têxtil, diminuindo os impactos que o mesmo causaria no meio ambiente;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Agrega valor econômico ao lodo com a geração significativa de biogás; - Baixo custo de fabricação. 	<p>incorporação de um resíduo com carga orgânica maior que a do lodo têxtil, no caso do esterco de vaca, para produção significativa de biogás;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Após a geração do biogás, necessita dar outra destinação ao resíduo final, como sua aplicação em pavimento, como estudado por Guba et al. (2016).
Produção de adubo	<ul style="list-style-type: none"> - Reduz a quantidade de lodo descartada de forma inadequada no meio ambiente; - Reduz o tamanho e o volume do substrato; - Agrega valor econômico ao lodo com a criação de fertilizantes de extrema qualidade; - Baixo custo de fabricação; - Aumenta a capacidade de retenção de água no solo devido a sua alta porosidade; - Estabiliza os metais pesados presentes no lodo. 	<ul style="list-style-type: none"> - A incorporação máxima do lodo têxtil no processo de vermicompostagem é de 20%, embora em escala industrial seja de grande significância; - Necessidade da combinação do esterco de vaca para a produção dos fertilizantes;

Observa-se pela Tabela 3 que são várias as aplicações do lodo de efluente têxtil, com destaque para o biocarvão, adsorventes de corante têxtil, bio-óleo como combustível alternativo, bio-óleo como antiespumante, tijolos ecológicos, blocos cerâmicos de vedação, blocos cerâmicos acústicos, blocos de pavimentos, argamassas de cimento, geração de biogás e a produção de adubo. Para cada uma verificou-se que existem vantagens e desvantagens.

Embora o biocarvão obtido através da pirólise do lodo têxtil apresente um grande poder adsorvente, sua fabricação é um processo trabalhoso e demanda bastante tempo. Outro problema ligado ao biocarvão é a necessidade de um tratamento final após ser utilizado como adsorvente, uma vez que adsorve uma grande quantidade de poluente.

A fabricação de adsorventes utilizando lodo têxtil para a remoção de corantes presentes na água, embora apresente um baixo custo de produção, seu processo de obtenção demanda bastante tempo, o que torna o processo complicado. Após a utilização do adsorvente, necessita de um tratamento final como o biocarvão, já que uma grande quantidade de corante é adsorvida.

A produção de bio-óleos embora aponte uma alta eficiência tanto como um combustível alternativo como sua função de antiespumante, ainda apresenta um elevado custo para sua obtenção, tornando o método não muito viável economicamente, além de sua fabricação ser trabalhosa e demorada.

Com relação ao uso na fabricação de materiais de construção, o lodo mostrou-se mais eficiente quando usado para de tijolos ecológicos e na construção de blocos de pavimentos, uma vez que sua incorporação na substituição da areia pode chegar até 50%. A fabricação de blocos para pavimentos não apresentou desvantagens, uma vez que não há na literatura estudos que apontem inferioridades dessa aplicação. Em relação aos blocos cerâmicos tanto os de vedação quanto os acústicos, apresentam um processo de fabricação simples, e um custo de produção baixo, porém a introdução máxima recomendada do lodo variou entre 10 e 20%, que em escala industrial é de bastante significância.

A geração de biogás, embora tenha sido feita em escala laboratorial, apresentou uma produção bastante significativa. Porém, após a geração do biogás a quantidade de lodo não diminui de volume, sendo necessário sua aplicação em outros setores, como por exemplo na construção de blocos de pavimentação estudada por Guba et al. (2016).

A produção de adubos por meio da vermicompostagem utilizando lodo de origem têxtil mostrou-se como um dos melhores métodos para aplicação desse resíduo, já que é um processo de simples fabricação e produz fertilizantes de alta qualidade, além de estabilizar os metais pesados presentes no lodo. Porém, a falta de conhecimento e experiência da sociedade, principalmente entre os agricultores, acaba limitando a utilização dessa tecnologia.

6. CONCLUSÕES

Conclui-se pelo trabalho que:

- É possível a aplicação do lodo gerado no tratamento de efluente têxtil;
- Embora a pirólise do lodo têxtil gerar produtos de ótima qualidade, seu processo de fabricação complicado, acaba tornando o método não muito viável;
- O processo de fabricação dos blocos cerâmicos acústicos e de vedação, além da produção de argamassa apresentam um custo baixo, porém a eficácia é reduzida quando a quantidade de lodo introduzida no processo aumenta;
- Entre os seguimentos onde o lodo é aplicado, destacam-se a fabricação de tijolos ecológicos, blocos de pavimentação, geração de biogás e a produção de fertilizantes utilizando a vermicompostagem, pois em termos de custo, eficácia e versatilidade, foram as aplicações mais vantajosas.

Almeja-se que a presente pesquisa contribua com informações preliminares, sobre as possíveis aplicações do lodo têxtil em diferentes setores, buscando alternativas sustentáveis para um substrato que comumente é descartado em aterros sanitários ou até mesmo incinerado, mostrando aspectos relevantes que devem ser considerados para o desenvolvimento de uma sociedade que procure cada vez mais a sua sustentabilidade.

7. REFERÊNCIAS

- ABIQUIM – Associação Brasileira da Indústria Química. **Corantes e pigmentos**. Disponível em: < http://abiquim.org.br/corantes/cor_classificacao.asp. > acessado em 22 de mar. de 2019.
- ABIT – Associação Brasileira da Indústria têxtil. **Perfil do setor**. Disponível em: < <http://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>> acessado em 22 de mar. de 2019.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2004) **NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005) **NBR 15270- 2: Componentes cerâmicos. Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005) **NBR 15270- 3: Componentes cerâmicos. Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT.
- ABREU, M. C. S. et al. **Perfis estratégicos de conduta social e ambiental: estudos na indústria têxtil nordestina**. Gestão & Produção, São Carlos, v. 15, p. 159-172, 2008.
- ALLEN, S.J., GAN, Q., MATTHEWS, R., JOHNSON, P.A. **Kinetic modeling of the adsorption of basic dyes by kudzu**. J. Colloid Interface Sci. v. 286, p. 101-109, 2005.
- ANNADURAI, G., JUANG, R.S., YEN, P.S., LEE, D.J. **Use of thermally treated waste biological sludge as dye absorbent**. Adv. Environ. Res., v. 7, p. 739-744, 2003.
- ANWAR T. B. et al. **Utilization of textile sludge and public health risk assessment in Bangladesh**. Sustainable Environment. Research, v. 28, p. 228-233, 2018.
- AOUNI, A. et al. **Reactive dyes rejection and textile effluent treatment study using ultrafiltration and nanofiltration processes**. Desalination, v. 297, p. 87-96, 2012.
- AQUINO, R. et al. **Adição de resíduo de lodo da indústria têxtil na produção de blocos cerâmicos de vedação**. Revista Eletrônica de Materiais e Processos. P. 29 – 35, 2015.
- BALAN, D.S.L., MONTEIRO, R.T.R. **Decolorization of textile indigo dye by ligninolytic fungi**. J. Biotechnol. v. 89, p. 141-145, 2001.

BASTIAN, E. Y. O.; ROCCO, J. L. S. **Guia Técnico ambiental da indústria têxtil – Série P + L**. São Paulo. CETESB, Sinditêxtil, p. 81, 2009.

BAYRAMOGLU, M. et al. **Operating cost analysis of electrocoagulation of textile dye wastewater**. Separation and Purification Technology. v. 37, p. 117 – 125, 2004.

BENSADOK, K. et al. **Electrocoagulation of cutting oil emulsions using aluminium plate electrodes**. Journal of Hazardous Materials, v.152, n.1, p. 423-430, 2007.

BRUNELLI, T. F. T. et al. **Degradação fotoeletroquímica de corantes dispersos em efluente têxtil utilizando fotoanodos de Ti/TiO₂**. Química Nova. Sociedade Brasileira de Química, v. 32, n. 1, p. 67-71, 2009.

CASTRO, T. M. et al. **Caracterização de blocos cerâmicos acústicos produzidos com incorporação de lodo de lavanderia têxtil**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 20, n. 1 p. 47-54, 2015.

CERQUEIRA, A. A. **Aplicação da técnica de eletrofloculação no tratamento de efluentes têxteis**. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Química pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2006.

CHEN, B., ZHOU, D., ZHU, L. **Transitional adsorption and partition of nonpolar and polar aromatic contaminants by biochars of pine needles with different pyrolytic temperatures**. Environ. Sci. Technol. v. 42, n. 14, p. 5137–5143, 2008.

CHEN, D. et al. **Reprint of: pyrolysis technologies for municipal solid waste: a review**. Waste Manag. v. 37, p. 116–136, 2015.

COGO, M.C. **Estudo de caracterização e disposição dos resíduos de uma indústria têxtil do estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Dissertação em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Conama n. 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n. 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial da União, Brasília, DF: 16 maio 2011.

DANESHVAR, N.; ASHASSI-SORKHABI, H.; TIZPAR, A. **Decolorization of orange II by electrocoagulation method**. Separation and Purification Technology, v. 31, n. 2, p. 153-162, 2003.

- FLECK, L. et al. **Utilização da técnica de eletrofloculação para o tratamento de efluentes têxteis: uma revisão.** Revista EIXO, Brasília - DF, v.2 n.2, 2013.
- FREIRE, R. S. et al. **Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas.** Química Nova, v. 23, n. 4, 2000.
- GALASSI, C. et al. **Utilização de lodo de lavanderias industriais na fabricação de blocos cerâmicos acústicos.** Anais do III Seminário de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Maringá-PR, 2012.
- GARRIGÓS, M. C. et al. **Determination of aromatic amines formed from azo colorants in toy products.** Journal of Chromatography, v. 976, n. 1/2, p. 309 - 317, 2002.
- GUARANTINI, C.I.; ZANONI, V.B. **Corantes Têxteis.** Química Nova, v. 23, p. 71- 78, 2000.
- GOLOB, V.; TUSŠIEK, L. **VIS absorption spectrophotometry of disperse dyes.** Dyes and Pigments, v. 40, n. 2/3, p. 211-217, 1999.
- GUHA, A.K. et al. **Construction of roadway, sanitary latrine ring and septic tank using textile sludge.** Resources and Environment. v. 6, p. 28-40, 2016.
- HAN, J. et al. **Catalytic upgrading of coal pyrolysis tar over char-based catalysts.** Fuel Process. Technol. v. 122, p. 98–106, 2014.
- HENRIQUES, D. M. **Degradação de Nonilfenol Polietoxilado e de efluente têxtil por meio de eletrocoagulação e processos fenton.** Dissertação (Dissertação em Química Analítica) – UFSM. Santa Maria, 2004.
- HOLT, P. K. et al. **A quantitative comparison between chemical dosing and electrocoagulation.** Colloids and Surfaces A: Physicochemistry Engineering Aspects. v. 211, p. 233-248, 2002.
- HOSSAIN, M. S. et al. **Reuse of textile mill ETP sludge in environmental friendly bricks – effect of gamma radiation.** Radiat. Phys. Chem. v. 151, p. 77–83, 2018.
- HUANG, M. et al. **Characteristics and aluminum reuse of textile sludge incineration residues after acidification.** J. Environ. Sci. v. 23, p. 1999–2004, 2011.

- ISLAM, A.; GUHA, A. K. **Removal of pH, TDS and Color from Textile Effluent by Using Coagulants and Aquatic/Non Aquatic Plants as Adsorbents.** Resources and Environment. v. 3 n. 5, p. 101-114, 2013.
- JEEVANANDAM, S. et al. **Comprehensive Study on Textile Dyeing Sludge as a Substitute for Cement in Cement-Mortar.** Int. J. Tech. v. 5, n. 2, p. 219-224, 2015.
- KACAN, E. **Optimum BET surface areas for activated carbon produced from textile sewage sludges and its application as dye removal.** Manag. v. 166, p. 116-123, 2016.
- KHANDEGAR, V.; SAROHA, A.K. **Electrocoagulation for the treatment of textile industry effluent – review.** Journal of Environmental Management. v. 123, p. 949 -963, 2013.
- KHURSHEED, A.; KAZMI, A.A. **Retrospective of ecological approaches to excess sludge reduction.** Water Res. v. 45, p. 4287-4310, 2011.
- KIM, M. H. et. al. **Removal of hydrolyzed Reactive Black 5 from aqueous solution using a polyethylenimine–polyvinyl chloride composite fiber.** Chemical Engineering Journal, v. 280, p. 18–25, 2015.
- KUNZ, A.; ZAMORA, P. P. **Novas Tendências no Tratamento de Efluentes Têxteis.** Química Nova, v. 25, n. 1, p. 78-82, 2002.
- LEE, L. H. et. al. **Sustainable approach to biotransform industrial sludge into organic fertilizer via vermicomposting: a mini review.** J. Chem. Technol. Biotechnol. v. 93, p. 925-935, 2018.
- LIANG, X. et al. **Concentrations and speciation of heavy metals in sludge from nine textile dyeing plants.** Ecotoxicol. Environ. Saf. v. 98, p. 128–134, 2013.
- LIN, S. H.; PENG, C. F. **Continuos treatment of textile wastewater by combined coagulation, electrochemical oxidation and activated sludge.** Water Research. v. 30, n. 3, p. 587-592, 1996.
- MAN, X. et al. **Removal of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from textile dyeing sludge by ultrasound combined zero-valent iron/EDTA/Air system.** Chemosphere, v. 191, p. 839–847, 2018.

- MÉNDEZ, A. et al. **Biochar from pyrolysis of deinking paper sludge and its use in the treatment of a nickel polluted soil.** J. Anal. Appl. Pyrolysis, v. 107, p. 46–52, 2014.
- MENG, X. Z. et al. **Organic contaminants in Chinese sewage sludge: a meta-analysis of the literature of the Past 30 years.** Environ. Sci. Technol. v. 50, n. 11, p. 5454 – 5466, 2016.
- MORAES, G. **Utilização do resíduo da indústria do aço na degradação de corantes reativos.** Dissertação (Dissertação em Química Aplicada) – UEPG. Ponta Grossa, 2015.
- MOREIRA, A. H.; OLIVEIRA, R. M.; LIMA, P. D. S. **Efeito da adição do lodo de águas residuais da indústria têxtil nas propriedades de materiais de construção.** Cerâmica, v. 47, n. 303, p.158-162, 2001.
- NUNES, J. A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais.** Editora J. Andrade, 2004.
- OZ, M. et al. **Cellular and molecular actions of Methylene Blue in the nervous system.** Med. Res. Rev. v. 31, p. 93–117, 2011.
- RAMOS F. M. S. et al. **Avaliação da técnica de solidificação/estabilização no tratamento de resíduo têxtil - produção de bloco cerâmico de vedação.** Cerâmica, v. 55, p. 408-414, 2009.
- RESENDE, L.P. **Reuso na indústria têxtil e lavanderias.** Hidra, p. 14-19, 2012.
- ROBINSON, T. et al. **Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative.** Bioresour. Technol. v. 77, n. 3, p. 247–255, 2001.
- ROSA, E. V. **Radetski, Textile sludge application to non-productive soil: physico-chemical and phytotoxicity aspects.** Ecotoxicol. Environ. Saf. v. 68, n. 1, p. 91–97, 2007.
- SCHEIBE, A. S. **Caracterização de óleos resultantes da pirólise do lodo têxtil.** Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2016.
- SCHEIBE, A. S. et al. **Characterization of the liquid fractions from textile sludge pyrolysis and their application as defoamers.** The Canadian Journal of Chemical Engineering, v. 96, n. 12, p. 2534-2543, 2018.

SCHWARZENBACH, R. P. et al. **The, challenge of micropollutants in aquatic systems.** Science, v. 313, p. 1072–1077, 2006.

SIM E. Y. S.; WU T. Y. **The potential reuse of biodegradable municipal solid wastes (MSW) as feedstocks in vermicomposting.** J. Sci. Food Agric. v. 90, p. 2153–2162, 2010.

SMITH, K. M. et al. **Sewage sludge-based adsorbents: a review of their production, properties and use in water treatment applications.** Water Res. v. 43, p. 2569-2594, 2009.

SOARES, K. F. **Incorporação do resíduo proveniente da estação de tratamento de efluente têxtil em massa cerâmica.** Dissertação (Dissertação em Engenharia de Materiais) – UFRN. Natal, 2016.

SOHAIMI, K. S. A. et al. **Synthesis, characterization and application of textile sludge biochars for oil removal.** Journal of Environmental Chemical Engineering v. 5, p.1415–1422, 2017.

SOHI, S. P. **Carbon storage with benefits.** Science v. 338, p.1034–1035, 2012.

SONAI, G. G. et al. **The application of textile sludge adsorbents for the removal of Reactive Red 2 dye.** J. Environ. Manag. v. 168, p. 149-156, 2016.

SOTTORIVA, P. R. S. **Degradação de corantes reativos utilizando-se processos oxidativos avançados.** Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Paraná, PR, 2002.

SOUZA, P. C. et al. **Estudo do tratamento de efluente têxtil através de processos de coagulação/floculação e eletrocoagulação.** E-xacta, Belo Horizonte, v. 9, n. 2, p 123-132, 2016.

VAN DER ZEE, F. P.; VILLAVERDE, S. **Combined anaerobic–aerobic treatment of azo dyes: a short review of bioreactor studies.** Water Research, v. 39, n. 8, p. 1425-1440, 2005.

VANHULLE, S. et al. **Decolorization, cytotoxicity, and genotoxicity reduction during a combined ozonation/fungal treatment of dye-contaminated wastewater.** Environ. Sci. Technol. v. 42, p. 584–589, 2008.

XIAO, X.; CHEN, B. **A direct observation of the fine aromatic clusters and molecular structures of biochars.** Environ. Sci. Technol. v. 51, n. 10, p. 5473–5482, 2017.

- XIE, W. et al. **Comparative thermogravimetric analyses of co-combustion of textile dyeing sludge and sugarcane bagasse in carbon dioxide/oxygen and nitrogen/ oxygen atmospheres: thermal conversion characteristics, kinetics, and thermodynamics.** Bioresour. Technol. v. 255, p. 88–95, 2018.
- YADAV, K. D.; SHARMA, D. **Vermicomposting of Textile Industries' Dyeing Sludge by Using *Eisenia foetida*.** Engineering and Technology International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering, v. 11, n. 11, p. 768 – 771, 2017.
- YOUSUF, M. et al. **Electrocoagulation (EC) – science and applications,** Journal of Hazardous Materials, v. 84, p. 29-41, 2001.
- YUSUF, M. et al. **Synthesis of CTAB intercalated graphene and its application for the adsorption of AR265 and AO7 dyes from water,** J. Colloid Interface Sci. v. 493, p. 51–61, 2017.
- WONG, S. et al. **From pollutant to solution of wastewater pollution: synthesis of activated carbon from textile sludge for dyes adsorption.** Chin. J. Chem. Eng, v. 26, p. 870-878, 2018.
- WANG, X. et al. **Effect of pyrolysis temperature on characteristics, chemical speciation and risk evaluation of heavy metals in biochar derived from textile dyeing sludge.** Eco. And Environ. Saf. v. 168, p. 45-52, 2019.
- ZANONI, M. V.; CARNEIRO, P. A. **O descarte dos corantes têxteis,** Ciência hoje, v. 29, p. 61-71, 2001.
- ZHAN, B. J.; POON, C. S. **Study on feasibility of reutilizing textile effluent sludge for producing concrete blocks.** J. Clean. Prod, v. 101, p. 174-179, 2015.
- ZHANG, H. et al. **Removal of COD from landfill leachate by electro-fenton method.** Journal of Hazardous Materials, v.135, p. 106-111, 2006.
- ZONATTI, W. F. **Geração de resíduos sólidos da indústria brasileira têxtil e de confecção: materiais e processos para reuso e reciclagem.** Tese. Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2016.