



**UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE BIOLOGIA NA MODALIDADE A DISTÂNCIA**

FERNANDA NAVA

**REMEDIÇÃO DO EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE COMPENSADO: ESTUDO
BIOLÓGICO COM USO DO FUNGO *Lasiodiplodia theobromae* MMPI**

Pato Branco, PR

2022

FERNANDA NAVA

**REMEDIÇÃO DO EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE COMPENSADO: ESTUDO
BIOLÓGICO COM USO DO FUNGO *Lasiodiplodia theobromae* MMPI**

Trabalho referente à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do título de Licenciada em Ciências Biológicas.
Profa. Orientadora: Dra. Patrícia de Andrade Paines

Pato Branco, PR

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Nava, Fernanda

Remediação do efluente da indústria de compensado:
estudo biológico com uso do fungo *Lasiodiplodia theobromae*
MMPI / Fernanda Nava ; orientador, Patrícia De Andrade
Paines, 2022.

42 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências
Biológicas, Graduação em Ciências Biológicas, Florianópolis,
2022.

Inclui referências.

1. Ciências Biológicas. 2. Revisão bibliográfica. 3.
Fungos. 4. Efluente. 5. Indústria madeireira. I. De
Andrade Paines, Patrícia . II. Universidade Federal de
Santa Catarina. Graduação em Ciências Biológicas. III. Título.

FERNANDA NAVA

**REMEDIÇÃO DO EFLUENTE DA INDÚSTRIA DE COMPENSADO: ESTUDO
BIOLÓGICO COM USO DO FUNGO *Lasiodiplodia theobromae* MMPI**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Licenciatura em Ciências Biológicas” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Ciências Biológicas.

Florianópolis/SC, 29 de abril de 2022.

Profa Dra. Viviane Mara Woehl
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Patrícia de Andrade Paines
Orientadora
Universidade Aberta do Brasil/UAB
Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC

Profa. Dra. Patricia Flavia Quaresma
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC

Dra. Leili Daiane Hausmann
Avaliadora Externa
Universidade Aberta do Brasil/UAB
Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC

Este trabalho é dedicado aos meus colegas de classe e
aos meus queridos pais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a todos que de alguma forma contribuíram para que esse trabalho tenha sido realizado. Em especial aos meus colegas de curso, que estiveram presente em todos os momentos e me impulsionaram a seguir em frente.

Agradeço aos colaboradores da UAB de Pato Branco, que sempre nos auxiliaram. Aos Professores da UFSC, que sempre estavam disponíveis; sobretudo a Professora Patrícia Paines, que dedicou seu tempo e me auxiliou de maneira que foram além das acadêmicas. Muito obrigada!

RESUMO

Atualmente um dos grandes problemas do planeta Terra são a poluição e a contaminação ambiental, decorrentes de diversos fatores como o uso irracional dos recursos naturais, o aumento da população e o descarte indevido de efluentes no ambiente. O Brasil é um dos maiores detentores de madeira do mundo, sendo a extração da madeira um dos setores de grande importância da economia brasileira. Nesse ramo, encontram-se as indústrias de laminados e compensados, onde são gerados efluentes com alta carga orgânica e quantidades elevadas de compostos fenólicos derivados da lignina. Tais efluentes precisam ser tratados respeitando a legislação ambiental. A utilização de tratamentos biológicos com fungos filamentosos tem se mostrado interessante do ponto de vista econômico e ambiental. O trabalho tem como objetivo demonstrar, por meio da revisão bibliográfica, a eficácia que o tratamento biológico possui na indústria, o presente trabalho conta com um compilado de estudos, envolvendo fungos para o tratamento de efluentes oriundos da indústria madeireira, com o objetivo de mostrar a possibilidade e o caminho para colocar o estudo na prática.

Palavras-chave: Poluição. Poluentes. Madeireira. Fungos. Estudo. Revisão. Biorremediação.

ABSTRACT

Currently, one of the major problems on planet Earth is pollution and environmental contamination, resulting from several factors such as the irrational use of natural resources, the increase in population and the improper disposal of effluents in the environment. Brazil is one of the largest holders of wood in the world, and wood extraction is one of the most important sectors of the Brazilian economy. In this branch, there are the laminate and plywood industries, where effluents with high organic load and high amounts of phenolic compounds derived from lignin are generated. Such effluents need to be treated respecting environmental legislation. The use of biological treatments with filamentous fungi has shown to be interesting from an economic and environmental point of view. The work aims to demonstrate, through a bibliographic review, the effectiveness that biological treatment has in the industry, the present work has a compilation of studies, involving fungi for the treatment of effluents from the wood industry, with the objective of showing the possibility and the way to put the study into practice.

Keywords: Pollution. Pollutants. Lumber. Fungi. Study. Revision. Bioremediation.

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

APHA	American Public Health Association
ABIMCI	Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente
AC	Aberrações cromossômicas
CO ₂	Dióxido de carbono
CPPA	Canadian Pulp and Paper Association
°C	Grau Celsius
DBO _{5,20}	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
Fe ₂	Óxido de ferro (II)
Fe ₃	Óxido de ferro (III)
g	Gramas
g.cm ⁻³	Gramas por centímetro cúbico
H ₃ BO ₃	Ácido bórico anidro
H ₂ SO ₄	Ácido Sulfúrico
hv	Radiação ultravioleta
ml	Mililitros
mg.O ₂ L ⁻¹	Miligramas de oxigênio dissolvido por litro
MN	Micronúcleos
MnSO ₄ .H ₂ O	Sulfato de manganês monohidratado
Mol.L ⁻¹	Mol por litro
Mo ₈ O ₂₃	Óxido de molibdênio
Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	Molibdato de sódio dihidratado
nm	Nanômetro
ODinicial	Oxigênio dissolvido inicial
ODfinal	Oxigênio dissolvido final
•OH	Radical hidroxila
pH	Potencial Hidrogênionico
PO ₄	Fosfato
POA's	Processos oxidativos avançados
Rpm	Rotação por minuto

UV	Ultravioleta
UV-Vis	Ultravioleta-Visível
$\mu\text{S cm}^{-1}$	Microsiemens por centímetro
W_8O_{23}	Óxido de Tungstênio
%	Porcentagem
$\lambda_{\text{máx}}$	Comprimento de onda máximo

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma da fabricação de compensados.	17
Figura 2 - Estrutura dos esporos do <i>Lasiodiplodia theobromae</i> em microscópio óptico (40x).20	
Figura 3 - Esquema de funcionamento de biorreatores airlift de circulação interna: (a) cilindros concêntricos; (b) split-cylinder.	21
Figura 4 - Esquema de um biorreator airlift de circulação externa.	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros de lançamentos para efluente industriais segundo Conama 430/2011 e Cema 70/2009.....	24
--	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Síntese geral dos tratamentos avaliados.....	34
---	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GERAL.....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
3.1 INDÚSTRIAS DE COMPENSADO	17
3.2 PROCESSOS DE TRATAMENTO BIOLÓGICO.....	18
3.2.1 Biorremediação com fungos filamentosos.....	19
3.2.2 Biorreatores airlift.....	21
3.2.3 Legislação ambiental para lançamento de efluentes	23
4 METODOLOGIA	25
4.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	25
4.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	26
5. DESCRIÇÃO DAS PRINCIPAIS TÉCNICAS AVALIADAS NO TRATAMENTO DE EFLUENTE COM ALTO TEOR LINOCELULÓSICO NO SEGMENTO INDUSTRIAL	27
5.1 ANÁLISE DE pH	27
5.2 SÉRIE DE SÓLIDOS	27
5.3 DETERMINAÇÃO DA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)	28
5.4 DETERMINAÇÃO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO ₅).....	28
5.5 RAZÃO DE BIODEGRADABILIDADE (DBO ₅ /DQO).....	29
5.6 DETERMINAÇÃO DE FENÓIS TOTAIS.....	29
5.7 SÉRIE NITROGENADA.....	30
5.8 DETERMINAÇÃO DE COR	31
5.9 ESPECTROSCOPIA UV-VISÍVEL (UV-VIS).....	31
5.10 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO (FT-IR).....	32
5.11 DETERMINAÇÃO DE LIGNINA	32
5.12 BIOTRATAMENTO DO EFLUENTE EM REATOR <i>AIRLIFT</i>	33
5.13 SÍNTESE GERAL DOS TRATAMENTOS AVALIADOS	33
6 CONCLUSÃO	36
REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

A poluição e a contaminação ambiental são problemas graves que ocorrem tanto em países desenvolvidos como em países em desenvolvimento e são decorrências de diversos fatores, incluindo o uso irracional dos recursos naturais, o aumento da população e o descarte indevido de efluentes no ambiente (CASANOVA et al., 2012).

De acordo com Casanova et al. (2018) o Brasil detém um terço das florestas tropicais do mundo, sendo a extração da madeira um dos setores mais importantes da economia brasileira. Nesse ramo, encontram-se as indústrias de laminados e compensados, onde são gerados efluentes com alta carga orgânica e quantidades elevadas de compostos fenólicos derivados da lignina.

Tais efluentes precisam ser tratados de modo a permitir seu descarte em corpos receptores, ou mesmo o reuso industrial da água presente, respeitando a legislação ambiental. Nesse contexto, a utilização de tratamentos biológicos com fungos filamentosos tem se mostrado interessante do ponto de vista econômico e ambiental. Diferentes fungos filamentosos têm sido utilizados em processos de biorremediação de efluentes industriais, em especial fungos lignolíticos, pois, os mesmos conseguem oxidar uma variedade de estruturas aromáticas, presentes na lignina pela ação de enzimas como lignina peroxidases, peroxidases dependentes de manganês e lacases (HASS et al., 2020).

Técnicas de biorremediação consistem na utilização de processo ou atividade biológica por meio de organismos vivos, objetivando modificar ou decompor determinados poluentes. A utilização de fungos em tais técnicas vem ganhando espaço nas últimas décadas, considerando que os fungos são capazes de degradar vários poluentes orgânicos. Os fungos ganham destaque por possuir algumas características peculiares, como tolerância a concentrações elevadas de produtos tóxicos, capacidade de crescer em condições ambientais de estresse e suportarem ambientes pobres de nutrientes (RODRIGUES et al., 2017).

Trabalhos voltados para biorremediação permitem visualizar o estudo em escala futura, junto com a utilização dos fungos, pois os mesmos permitem tratar áreas impactadas por indústrias, refinarias, esgotos domésticos e hospitalares, degradando a matéria orgânica em excesso e devolvendo o equilíbrio das condições físico-químicas da água (LOPES et al., 2019).

Diante do exposto, buscou-se a resposta à seguinte pergunta de pesquisa “**como propor ou incentivar a utilização de processos biológicos por meio de organismos vivos na indústria?**”.

Diante disso, o trabalho tem como objetivo demonstrar a eficácia que o tratamento biológico possui na indústria, por meio de estudos já realizados. O presente trabalho conta com um compilado de estudos, envolvendo fungos para o tratamento de efluentes oriundos da indústria madeireira, com o objetivo de mostrar a possibilidade e o caminho para colocar o estudo na prática.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Através de uma revisão bibliográfica demonstrar o potencial de uso do fungo ascomiceto *Lasiodiplodia theobromae* MMPI no tratamento de efluente da indústria de compensado.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Demonstrar por meio de referencial teórico a eficácia do fungo *Lasiodiplodia theobromae* MMPI no tratamento de efluente da indústria madeireira;
2. Identificar por meio de literatura quais processos são necessários para caracterização do efluente bruto quanto aos parâmetros físico-químico, se colocado em prática;
3. Avaliar o potencial em tratar efluente proveniente de madeira no segmento industrial, por meio de análise teórica.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

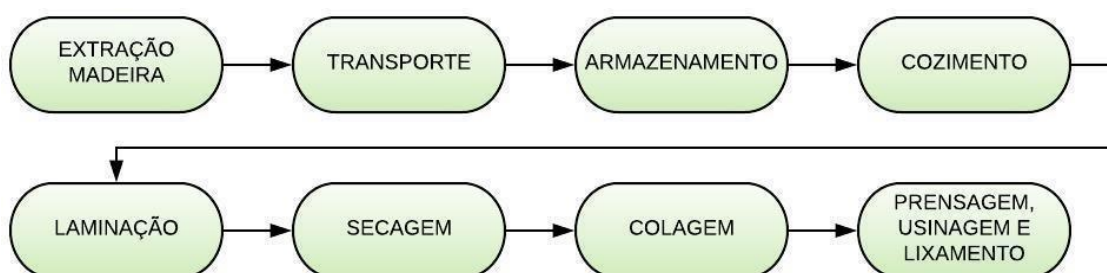
3.1 INDÚSTRIAS DE COMPENSADO

A produção de placas de compensado é um nicho produtivo importante do setor madeireiro. Tais placas são utilizadas em diversas áreas e com diferentes finalidades, desde a construção civil até à elaboração de instrumentos musicais. O compensado é um painel constituído de lâminas finas de madeira sobrepostas, onde cada folha é colada sobre a outra com adesivos e resinas e uso de pressão e calor. Dependendo da quantidade de folhas empregadas, os ângulos entre as folhas, a incidência de defeitos, as resinas e acabamentos empregados na fabricação, é possível produzir compensados com diferentes características físicas e qualidade (ABIMCI, 2009; SILVA et al., 2012).

A fabricação das placas de compensado (Figura 1) começa com a extração da madeira do ambiente, as quais são transportadas para as fábricas e armazenadas para uso posterior. As toras de madeira são submetidas ao processo de cozimento, via vapor, com o tempo e temperatura dependendo da espessura e espécie da madeira e após o cozimento as madeiras são destinadas ao processo de laminação.

Após laminação as madeiras vão para a secagem, podendo ser separadas em função de parâmetros de qualidade; e então é realizada a colagem das lâminas com sobreposição, e por fim, são procedidas as etapas de prensagem, usinagem e lixamento (SILVA et al., 2012).

Figura 1 - Fluxograma da fabricação de compensados.



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

De acordo com Stadler (2009), o cozimento das toras tem como finalidade amolecer as

fibras da madeira, tornando-as mais flexíveis, para minimização de falhas e aumento da resistência interna. A qualidade da lâmina tem relação direta com o tempo e a temperatura do cozimento. E é justamente nessa etapa do processo que o principal efluente gerado. O efluente possui em sua composição: extrativos de madeira, sólidos dissolvidos, alta carga orgânica e turbidez (MENEGUZZI, 2016). Com isso, esse efluente não pode ser descartado na rede pública, em corpos receptores e nem reutilizado.

Em função da pouca eficiência e/ou alto custo dos processos convencionais biológicos e físico-químicos no tratamento deste tipo de efluente, novas tecnologias têm sido testadas nas últimas décadas, como os Processos Oxidativos Avançados (POA's) (BORBA; SOTTORIVA; MÓDENES, 2008).

A madeira é a principal fonte de lignina no mundo, a qual é constituída por um grande grupo de macromoléculas aromáticas. É responsável por aproximadamente 30% do peso da madeira, conferindo rigidez e propriedades antimicrobianas à mesma. Uma vez que a lignina se encontra combinada com celulose e hemicelulose na biomassa, isso é um fator limitante na bioconversão dos constituintes da madeira via bioquímica (microbiana) para a produção de produtos de segunda geração. Esses processos geram uma enorme quantidade de lignina como subprodutos, usada principalmente como combustíveis para economia de energia (TRIBOT et al., 2019).

3.2 PROCESSOS DE TRATAMENTO BIOLÓGICO

A técnica de biorremediação consiste na utilização de processo ou atividade biológica por meio de organismos vivos, que possuam a capacidade de modificar ou decompor determinados poluentes, transformando, assim, contaminantes em substâncias inertes (JACQUES et al., 2010).

Essas técnicas têm como princípio básico o aumento da eficiência da remoção natural feita pelos microrganismos. Os processos utilizados podem ser classificados *in situ* e *ex situ* (CHAGAS-SPINELLI, 2007). A biorremediação *in situ* é a mais empregada no mundo (ANDRADE; AUGUSTO; JARDIM, 2010). Este tipo de processo evita custos e distúrbios ambientais associados com o movimento de solos e águas que estão contaminados para outros locais destinados ao tratamento (MARIANO, 2006).

Independentemente do local de aplicação, a biorremediação tem como objetivo

principal transformar os contaminantes em produtos com pouca ou nenhuma toxicidade; os microrganismos metabolizam as substâncias orgânicas, das quais obtêm nutrientes e energia (ANDRADE; AUGUSTO; JARDIM, 2010). De acordo com Mariano (2006), os produtos finais de uma biorremediação efetiva são água e gás carbônico, que não apresentam toxicidade e podem ser incorporados ao ambiente sem prejuízo aos organismos vivos.

Para aperfeiçoar a eficiência do processo de biorremediação as condições adequadas de temperatura, pH, concentração de substrato, sais minerais, vitaminas e oxigênio (para organismos aeróbios) devem ser proporcionadas para que os microrganismos cresçam e produzam os metabólitos de interesse (ALVES, 2010). De acordo com Andrade, Augusto e Jardim (2010), muitos contaminantes podem ser metabolizados por microrganismos, porém, alguns são mais facilmente biodegradados do que outros.

O processo de biorremediação pode ser acelerado pela utilização de bioestimulação e/ou de bioaugmentação. Na bioestimulação nutrientes são adicionados e as condições ambientais potencializadas visando o desenvolvimento de populações nativas de microrganismos. Na bioaugmentação são adicionados microrganismos capazes de degradar rapidamente contaminantes específicos (FENIMAN et al., 2009).

3.2.1 Biorremediação com fungos filamentosos

Fungos filamentosos são organismos heterotróficos que crescem rapidamente e formam filamentos celulares e microscópios denominados hifas, cujo conjunto constitui o micélio, que é responsável por todas as funções vegetativas do organismo. No caso dos fungos lignolíticos, o micélio secreta enzimas que atuam sobre as substâncias, ocorrendo liquefação (ESPOSITO; AZEVEDO, 2004; FASANELLA, 2009).

Os fungos desempenham papel importante na ciclagem de nutrientes e nos ciclos biogeoquímicos, tanto em ambientes aquáticos como terrestres. A maioria das enzimas industriais para o bioprocessamento lignocelulósico é proveniente de fungos e exibem uma ampla gama de bioatividades interessantes que permanecem pouco exploradas (BANERJEE et al., 2010; PAYNE et al., 2015; FALADE et al., 2017).

Nas últimas décadas, estudos têm demonstrado que os fungos são capazes de degradar vários poluentes orgânicos, apesar de muitos dos trabalhos desenvolvidos em processos de biorremediação serem com bactérias, os fungos vêm ganhando espaço (LIMA;

OLIVEIRA; CRUZ, 2011).

Acelerar o crescimento ou aumentar a quantidade de fungos em determinado local podem exercer efeitos benéficos, diminuindo a quantidade de poluentes tóxicos disponíveis, desde que sejam dadas as condições adequadas, especialmente para os poluentes difíceis de serem degradados (SINGH, 2006).

De acordo com Meyer (2008) os fungos filamentosos possuem a habilidade de crescer em substratos bastante simples e de baixo custo, além da excepcional capacidade de expressar e excretar proteínas. Estas características e graças aos avanços dos conhecimentos da fisiologia, bioquímica e genética dos fungos filamentosos, tornou possível à exploração de seu imenso potencial para a aplicação industrial e biorremediação (TORRES et al. 2008).

A espécie *Lasiodiopodia theobromae* MMPI é do gênero *Lasiodiopodia* (Figura 2), sendo por muito tempo a única espécie do gênero. É um fitopatogênico cosmopolita responsável pela infecção de várias culturas em áreas tropicais e associada a mais de 500 espécies de plantas, o que sugere uma alta variabilidade genética (FARR; ROSSMAN, 2018).

Figura 2 - Estrutura dos esporos do *Lasiodiopodia theobromae* em microscópio óptico (40x).



Fonte: SACCOMAN et al. (2016).

No Brasil, esse fitopatógeno é considerado um problema sério no setor da agricultura (NUNES, et al. 2008). Esse fungo é reconhecido em outros hospedeiros pela capacidade de colonizar tecidos vegetais sem aparente sintoma (CARDOSO, et al. 2009). *L. theobromae* MMPI é a espécie detectada com maior frequência em diversos hospedeiros e condições ambientais, sugerindo uma elevada variabilidade entre os indivíduos dessa espécie presentes no país (RÊGO, 2018).

A biodegradação de lignina faz parte da reciclagem natural de carbono na Terra e serve como fonte de inspiração no setor de biotecnologia, com aplicações na indústria de celulose e papel e na produção de biocombustíveis, sendo que apenas alguns fungos dos filos Basidiomicetos, Ascomycetos e Deuteromicetos degradam a madeira (EK; GELLERSTEDT; HENRIKSSON, 2009). De acordo com Barreto- Rodrigues; Aguiar e Cunha (2009) esses fungos são geralmente divididos em três grupos, conforme sua morfologia: fungos de degradação branca, marrom e branca.

Entre os fungos que apodrecem a madeira, apenas os fungos da degradação branca podem degradar a lignina (EK; GELLERSTEDT; HENRIKSSON, 2009). Os fungos da degradação marrom degradam principalmente a celulose e as hemiceluloses através das reações de Fenton, mas também têm a capacidade de modificar ligeiramente a lignina (TRIBOT et al., 2019). Porém, não há relatos na literatura do uso da cepa de *Lasiodiplodia theobromae* MMPI no tratamento de efluente de compensado, apesar de ser um fungo de degradação branca.

3.2.2 Biorreatores *airlift*

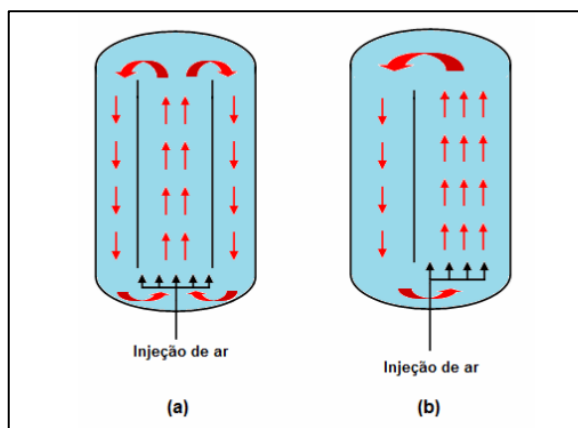
Biorreatores são equipamentos empregados na conversão de matérias-primas em produtos de interesse, através da ação de biocatalisadores, como microrganismos, enzimas, células animais ou vegetais. Estes dispositivos também são conhecidos como “fermentadores”, onde sua principal função é proporcionar um ambiente adequado para o desenvolvimento do processo e, conseqüentemente, para a obtenção do produto desejado. Sendo assim, um biorreator deve oferecer as melhores condições de temperatura, pH, concentração de nutrientes e oxigênio (organismos aeróbios), dependendo da necessidade do bioprocessamento (ESPERANÇA, 2014).

De acordo com Schmidell e Facciotti (2001) a agitação dos reatores pode ser realizada por agitadores mecânicos ou pneumáticos; nos reatores pneumáticos a agitação do líquido pode ser proporcionada pelo borbulhamento de um gás no reator. Esses reatores apresentam uma menor tensão de cisalhamento e nesse grupo se encontram os reatores *airlift*.

Dentro da categoria *airlift*, duas subcategorias são relevantes: biorreatores *airlift* com circulação interna (Figura 3) e biorreatores *airlift* com circulação externa (Figura 4).

Figura 3 - Esquema de funcionamento de biorreatores *airlift* de circulação interna: (a)

cilindros concêntricos; (b) split-cylinder.

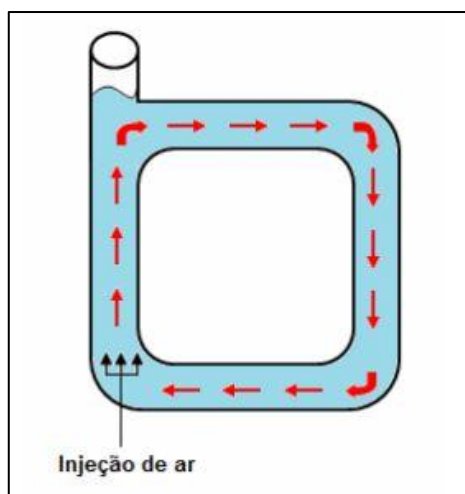


Fonte: NORDI (2014).

Na Figura 3 (a), a região de subida e descida se encontram na mesma cavidade, enquanto na Figura 3 (b), essas regiões são apresentadas em cavidades distintas (RODRIGUEZ, 2015).

Os reatores *airlift* apresentam vantagens aos demais reatores, uma vez que não necessitam de agitação mecânica, não demandando assim, o fornecimento de elevadas quantidades de energia (Figura 4).

Figura 4 - Esquema de um biorreator airlift de circulação externa.



Fonte: NORDI (2014).

Diante disso, ressalta-se que em comparação com tanques agitados, as tensões de corte são baixas, o que torna favorável o processo de crescimento de microrganismos (COUVERT et al., 2004; PEREIRA, 2012).

3.2.3 Legislação ambiental para lançamento de efluentes

No Brasil, os parâmetros para lançamento de efluentes em meios aquáticos, são regulamentados pela resolução Conama 357/2005, que foi complementada e alterada pela resolução 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (BRASIL, 2011).

A legislação Conama 430/2011, estabelece parâmetros físicos e químicos para lançamento de efluentes, conforme Tabela 1. Determina também, que qualquer lançamento de efluente não deverá causar ou possuir efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, devendo os testes de ecotoxicidade utilizar organismos aquáticos de pelo menos dois níveis tróficos diferentes, sendo que, os critérios de ecotoxicidade devem ser estabelecidos pelos órgãos estaduais competentes (BRASIL, 2011).

A legislação Federal brasileira não apresenta valores de lançamento para demanda química de oxigênio (DQO) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅) específico para a indústria de compensado.

Porém, o Conselho Estadual do Meio Ambiente (CEMA) do Paraná, através da Resolução CEMA 70/2009, estabelece parâmetros de DQO (300 mgO₂L⁻¹) e DBO₅ (500 mgO₂L⁻¹) para o lançamento da indústria de papel e celulose; em função da similaridade do efluente estudado iremos adotar estes valores como parâmetros de lançamento (Tabela 1).

Tabela 1 - Parâmetros de lançamentos para efluente industriais segundo Conama 430/2011 e Cema 70/2009.

Parâmetro	Limite de Lançamento
pH	entre 5 a 9
Temperatura de lançamento	Inferior a 40°C
Sólidos sedimentáveis	1 mL (L ⁻¹)
Vazão Máxima de lançamento	1,5 vezes a vazão média
Óleos minerais	20 mg (L ⁻¹)
Óleos vegetais e gorduras animais	50 mg (L ⁻¹)
DQO	300 mgO ₂ (L ⁻¹)**
DBO (5 dias a 20°C)	Remoção Mínima de 60 % -50 mgO ₂ (L ⁻¹)**
Fenóis totais	0,5 mg (L ⁻¹)
Toxicidade aguda	FTd para <i>Daphnia magna</i> : 8 (12,5%)** FTbl para <i>Vibrio fischeri</i> : 8 (12,5%)
Toxicidade crônica	FTd para <i>Scenedesmus subspicatus</i> : 8 (12,5%)** FTbl para <i>Vibrio fischeri</i> : 8 (12,5%)

Fonte: Adaptado de Brasil (2011) e Paraná (2009).

Além disso, de acordo com a portaria do Instituto Ambiental do Paraná (IAP) n° 256, de 2013 os efluentes a serem lançados em regime descontínuo, por batelada ou reciclo total do efluente final, devem ser armazenados em um tanque pulmão, para posterior tratamento e lançamento no corpo hídrico, em regime de vazão constante, não devendo ultrapassar 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária, atendendo aos critérios estabelecidos no artigo 16, da Resolução CONAMA n° 430/2011. Os procedimentos de amostragem, manuseio, transporte, armazenamento devem atender ao disposto na Resolução CEMA 84/2012.

4 METODOLOGIA

4.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa bibliográfica procura explicar e discutir um tema com base em referências teóricas publicadas em livros, revistas, periódicos e outros. Busca também, conhecer e analisar conteúdos científicos sobre determinado tema (MARTINS, 2001).

Este estudo adotou como estratégia metodológica, a revisão bibliográfica – optou-se por utilizar a revisão narrativa que é um dos tipos de revisão de literatura, pela possibilidade de acesso a experiências de autores que já pesquisaram sobre o assunto. No presente trabalho foi realizada a revisão bibliográfica referente aos processos que envolvem o tratamento biológico, como a biorremediação com fungos filamentosos, biorreatores *airlift*, além da legislação ambiental para o lançamento de efluentes.

Para a realização desta revisão, foi realizado, a princípio, um levantamento bibliográfico na base de dado SciELO e no banco de teses e dissertações da Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Nesses ambientes de busca, selecionaram-se, como tipos de fontes a serem analisadas, apenas os artigos de periódicos, as teses e dissertações e livros eletrônicos disponibilizados nas bases de dados.

Quanto à sua natureza, a pesquisa é descritiva e exploratória, que, de acordo com Gil (2007), tem o objetivo de aprimorar ideias, ou seja, realizar a comparação de trabalhos existente com o objetivo de mensurar se o tratamento biológico é eficiente (Figura 3). Além disso, a pesquisa exploratória serve para desenvolver melhor a compreensão do tema abordado.

Para Barquette e Chaoubah (2007), a pesquisa exploratória inicia sua busca em dados secundários, sendo uma busca informal de dados diretamente com os pesquisados, procurando identificar as variáveis que causam o problema e formular soluções ou hipóteses sobre o caso que está sendo estudado.

No presente trabalho, a pesquisa exploratória é sobre lançamentos de efluentes que não possuem tratamento prévio ou tratamento que não está de acordo com a legislação ambiental, especificamente sobre efluentes oriundos da indústria madeireira. A indústria da madeira é muito forte no Brasil, dado os biomas que possuímos, mas com isso vêm os grandes problemas ambientais envolvidos. O compensado necessita passar por alguns processos para de fato ser utilizado, onde, no decorrer desses processos, acontece à geração de efluente

contaminado, com isso é preciso encontrar soluções e técnicas para aperfeiçoar o tratamento desse efluente, de maneira que possa ser lançado ao meio ambiente sem prejuízos (BARQUETTE; CHAOUBAH, 2007). Diante disso, este trabalho buscou adquirir conhecimentos para auxiliar novos estudos teóricos e possíveis práticas aos assuntos citados ao longo do trabalho.

4.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Segundo a linha de pesquisa exploratória o presente trabalho apresenta os principais procedimentos metodológicos que devem ser utilizados na prática, bem como a descrição e referência dos mesmos. O presente trabalho possui a metodologia baseada em referencial teórico, sendo assim, a seguir está descrito as técnicas mais usuais para o procedimento em que efluentes com alto teor lignocelulósicos são tratados.

De acordo com referencial teórico descrito no decorrer do trabalho, para obter resultados analíticos laboratoriais, é necessário caracterizar o efluente quanto aos parâmetros de pH, série de sólidos, DQO, DBO₅ razão de biodegradabilidade, fenóis totais, série nitrogenadnsoa (nitrogênio amoniacal, nitratos, nitritos, nitrogênio total), determinação de cor, espectroscopia UV-visível, espectroscopia de Infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR), lignina solúvel e insolúvel.

Além disso, o efluente deve ser biotratado em agitador orbital (*shaker*) e em Reator *airlift*. A seguir, as análises necessárias para caracterização do efluente estão descritas na forma que deverá ser realizada, caso o estudo seja aplicado na prática ou no segmento industrial.

5. DESCRIÇÃO DAS PRINCIPAIS TÉCNICAS AVALIADAS NO TRATAMENTO DE EFLUENTE COM ALTO TEOR LINOCELULÓSICO NO SEGMENTO INDUSTRIAL

5.1 ANÁLISE DE pH

As leituras do potencial hidrogeniônico (pH) devem ser realizadas utilizando potenciômetro digital de bancada calibrado com soluções de pH 4,0 e 7,0 (APHA, 2005).

Segundo a CETESB (2016), “O valor de pH é ainda considerado importante, pois ele é um dos nove parâmetros escolhidos para o cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA) utilizados pela CETESB, onde os critérios de proteção à vida aquática fixam o pH entre 6 e 9.”

5.2 SÉRIE DE SÓLIDOS

Na série de sólidos devem ser analisados, sólidos suspensos, sólidos dissolvidos totais, sólidos totais cinzas (compostos minerais), por gravimetria.

➤ **Determinação de sólidos suspensos:** Uma alíquota de 100 ml do efluente deve ser filtrada em papel filtro qualitativa de massa conhecida, e posteriormente seca em estufa a 105°C até massa constante (APHA, 2005);

➤ **Determinação de Sólidos Dissolvidos Totais:** O filtrado obtido na determinação de sólidos suspensos deve ser seco a 105°C em estufa. Posteriormente a amostra será resfriada em dessecador por 2 horas e pesada até massa constante (APHA, 2005);

➤ **Determinação de Sólidos totais:** Uma alíquota de 100 ml do efluente deve ser transferida para béquer previamente tarado, e seco em estufa a 105°C. Posteriormente a amostra deve ser resfriada em dessecador por 2 horas e pesado (APHA, 2005);

➤ **Determinação de Cinzas ou Compostos Minerais:** Uma alíquota do efluente deve ser acondicionada em cadinho de porcelana previamente calcinado e tarado. Em seguida o cadinho deve ser levado ao aquecimento até eliminação de parte da água, sendo posteriormente levado a mufla por 4 horas a 550°C (APHA,2005).

5.3 DETERMINAÇÃO DA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)

A DQO é o parâmetro que mede a quantidade de matéria orgânica suscetível à oxidação por meios químicos, empregando o dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) em meio ácido, como agente oxidante em amostras líquidas, sendo o resultado expresso em miligramas de oxigênio por litro.

Em tubos de ensaio deve ser adicionado 3 ml do efluente diluído, 1,5 ml de solução digestora (que será preparada com 10,12 g de dicromato de potássio; 33,3 g de sulfato de mercúrio II; 167,0 ml de H_2SO_4 , completado com 1000 ml de água destilada) e 3,50 ml de solução catalítica (que deve ser preparada na proporção de 5,5 g de $AgSO_4$, por kg de H_2SO_4 concentrado). Em seguida, os tubos devem ser colocados em bloco digestor e mantidos a temperatura de $150^\circ C$ por 2 horas. Após resfriamento, deve ser realizada leitura de absorvidade, no comprimento de onda de 600 nm. A concentração da demanda de O_2 da amostra, em mg/L, deve ser obtida pela interpolação dos dados obtidos em curva de calibração utilizando biftalato de potássio como padrão (APHA, 2005).

5.4 DETERMINAÇÃO DE DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO_5)

DBO_5 corresponde à quantidade de oxigênio consumido na degradação da matéria orgânica no meio aquático por processos biológicos, sendo o resultado expresso em miligramas de oxigênio por litro.

A quantidade de matéria orgânica biodegradável na amostra deve ser determinada pela diferença de concentração de oxigênio dissolvido, antes ($OD_{inicial}$) e após a incubação por 5 dias (OD_{final}) do efluente a $20 \pm 1^\circ C$, ao abrigo da luz em incubadora do tipo B.O.D (marca Nova Técnica, modelo RDE34) (APHA, 2005). Este ensaio deve ser realizado em quatro etapas:

- i) Inicialmente determinada a DQO (Conforme item 6.2.3) do efluente, corrigindo o pH para 7,1 – 7,3 com solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4) ou hidróxido de sódio (NaOH);
- ii) Com o resultado da DQO deve ser verificada a necessidade de diluição da amostra, com solução nutriente (para 1000 ml de água, 1 ml de solução tampão fosfato 1 ml

de sulfato de manganésio, 1 ml de cloreto de cálcio e 1 ml de cloreto férrico);

iii) As amostras devem ser incubadas em frascos Winkler (5 dias a $20 \pm 1^\circ\text{C}$, ao abrigo da luz), para determinação da quantidade de oxigênio final.

iv) Com os resultados dos teores da OD_{inicial} e OD_{final} , o valor da $DBO_{5,20}$ deve ser determinado.

5.5 RAZÃO DE BIODEGRADABILIDADE (DBO_5/DQO)

A razão de biodegradabilidade deve ser obtida pela divisão do valor da DBO_5 e da DQO do efluente, nos efluentes bruto e tratado, visando à verificação do aumento ou diminuição de biodegradabilidade do mesmo.

5.6 DETERMINAÇÃO DE FENÓIS TOTAIS

A concentração de fenóis totais deve ser determinada colorimetricamente através do procedimento de Folin-Ciocalteu (APHA, 2005).

O método espectroscópico Folin-Ciocalteu é um dos mais utilizados para a determinação de fenólicos totais e é baseado na redução dos ácidos fosfomolibdico-fosfotungstíco pelas hidroxilas fenólicas, originando óxidos azuis de tungstênio (W_8O_{23}) e de molibdênio (Mo_8O_{23}), um complexo que absorve em $\lambda_{\text{máx}} = 740 \text{ nm}$. A reação ocorre em meio alcalino, sendo a solução de carbonato de sódio (Na_2CO_3) a base mais indicada.

Em tubos de ensaio deve ser acrescentado 0,5 ml do efluente e, em seguida 2,5 ml do reagente Folin-Ciocalteu 10% e 2 ml de carbonato de sódio 4%. Posteriormente a solução deve permanecer em repouso ao abrigo da luz por 2 horas. E então, deve ser realizada a leitura de absorção em espectrofotômetro a 740 nm utilizando como branco, a água. Os resultados devem ser calculados com base na equação da reta obtida a partir de curva padrão colhida com ácido gálico. Os resultados devem ser expressos em mg de equivalentes de ácido gálico (EAG) por 100 ml de amostra.

5.7 SÉRIE NITROGENADA

Na série nitrogenada devem ser determinados, nitratos, nitritos, nitrogênio amoniacal e nitrogênio total Kjeldahl.

➤ **Nitrato:** A determinação de nitratos deve ser realizada de acordo com método colorimétrico padrão (APHA, 2005).

Em um frasco Erlenmeyer de 250 ml deve ser adicionado 100 ml de amostra. Em seguida deve ser adicionado 1 ml de ácido sulfanílico e 1 ml de alfa- naftilamina, procedendo com agitação depois de cada adição. A solução deve permanecer em repouso por 15-30 minutos para desenvolver a coloração, Em seguida, deve ser realizada a leitura de absorção em espectrofotômetro a 520 nm. Para calcular a concentração de nitrito na amostra deve ser construída curva padrão com nitrito de sódio, seguindo o mesmo procedimento adotado para a amostra do efluente;

➤ **Nitrito:** A determinação de nitritos deve ser realizada de acordo com método colorimétrico padrão (APHA, 2005).

Em um frasco Erlenmeyer de 250 ml deve ser adicionado 100 ml de amostra. Em seguida deve ser adicionado 1 ml de ácido sulfanílico e 1 ml de alfa- naftilamina, procedendo com agitação depois de cada adição. A solução deve permanecer em repouso por 15-30 minutos para desenvolver a coloração, Em seguida, deve ser realizada a leitura de absorção em espectrofotômetro a 520 nm. Para calcular a concentração de nitrito na amostra deve ser realizada curva padrão com nitrito de sódio, seguindo o mesmo procedimento adotado para a amostra do efluente;

➤ **Nitrogênio Amoniacal:** Para a determinação de nitrogênio amoniacal deve ser adicionado diretamente ao tubo de destilação 100 ml de amostra e posteriormente, 10 ml de solução de hidróxido de sódio 40%, procedendo-se imediatamente a destilação. Em separado acoplado ao destilador de nitrogênio um Erlenmeyer contendo 10 ml de solução de ácido bórico 4% e 4 a 5 gotas de indicador misto. Então o tubo digestor deve ser adaptado ao destilador, recolhendo um volume entre 50 e 75 mL de solução alcalina.

Deve ser realizada então, a titulação do volume destilado com ácido sulfúrico 0,1 N, até a mudança na coloração do indicador, sendo realizado o mesmo procedimento com o branco. Com o volume obtido na titulação, a quantificação de nitrogênio amoniacal, deve ser determinada conforme equação descrita na literatura.

➤ **Nitrogênio total Kjeldahl:** Para a determinação de nitrogênio total deve ser

utilizado o método Kjeldahl, conforme APHA (2005).

Este método é baseado na digestão da amostra com ácido sulfúrico concentrado e posterior destilação da amônia, a qual é fixada em solução ácida e titulada.

Para a determinação de nitrogênio total deve ser adicionado ao tubo digestor 20 ml de amostra, juntamente com 15 ml de solução digestora. Então o tubo digestor deve ser levado ao bloco digestor onde a temperatura será elevada lentamente, evaporando desta forma a água presente na amostra, e então a temperatura será elevada até atingir 350°C para completa digestão, verificada pela coloração verde claro. Em separado deve ser acoplado ao destilador de nitrogênio um Erlenmeyer contendo 10 ml de solução de ácido bórico 2% e 4 a 5 gotas de indicador misto. Então o tubo digestor após resfriamento deve ser adaptado ao destilador e posteriormente adicionados 10 ml de solução de hidróxido de sódio 40%, procedendo-se a destilação, onde deve ser recolhido um volume entre 50 e 75 ml de solução alcalina.

Então deve ser procedida a titulação do volume destilado com ácido sulfúrico 0,1 N, até a mudança na coloração do indicador, sendo realizado mesmo procedimento com o branco.

5.8 DETERMINAÇÃO DE COR

A cor deve ser determinada de acordo com metodologia padrão CPPA (1975). Em todas as determinações, os efluentes devem ser previamente centrifugados por 15 minutos a 3.000 rpm e o pH ajustado para 7,6 com tampão fosfato 0,1 molL⁻¹. A absorbância da solução no espectro visível deve ser determinada em 465 nm, empregando como branco, água destilada (APHA, 2005).

5.9 ESPECTROSCOPIA UV-VISÍVEL (UV-VIS)

As análises espectroscópicas devem ser realizadas em espectrofotômetro Thermo Scientific modelo Evolution 60S – UV – Visible Spectrophotometer, utilizando cubetas de quartzo com um caminho óptico de 1 cm. Água destilada deve ser utilizada como referência (branco). A varredura deve ser realizada de 190 - 800 nm. Os efluentes devem ser

previamente centrifugados por 15 min a 3.000 rpm e o pH ajustado para 7,6 com tampão fosfato $0,1 \text{ molL}^{-1}$ e então diluídos para que se adaptem a faixa de absorvância do aparelho (APHA, 2005).

5.10 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO (FT-IR)

Uma alíquota do efluente deve ser previamente liofilizada e mantida em dessecador até o momento da análise. Para a obtenção dos espectros IV devem ser preparadas pastilhas de KBr contendo 1% de amostra, compactadas a $8-10 \text{ kgf.cm}^{-1}$. A seguir, devem ser obtidos os espectros na região de 4.000 a 400 cm^{-1} , com 32 acumulações, resolução de 2 cm^{-1} em equipamento Perkin-Elmer, modelo FT-IR Frontier (APHA, 2005).

5.11 DETERMINAÇÃO DE LIGNINA

Devem ser determinadas a Lignina Klason Insolúvel e Lignina Klason Solúvel.

➤ **Lignina Klason Insolúvel:** a determinação de lignina deve ser realizada de acordo com o método Klason ASTM (1966). Amostra de 0,3 g de efluente liofilizado deve ser transferida para um béquer e tratada com 5 ml de H_2SO_4 72% sob vigorosa agitação, em banho termostatzado a 45°C por 7 minutos, então a reação deve ser interrompida com a adição de 79 ml de água destilada. A amostra então deve ser transferida para Erlenmeyer de 250 ml e autoclavado a 110°C por 30 minutos a 1,05 bar, para a completa hidrólise dos oligômeros restantes. Após está etapa a mistura reacional deve ser filtrada e o hidrolisado transferido e diluído com água destilada em um balão volumétrico de 100 ml e armazenado para análise posterior.

Os sólidos retidos no papel de filtro, previamente tarado, devem ser lavados com aproximadamente 2 L de água destilada e secos em estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ até massa constante.

➤ **Lignina Klason Solúvel:** a quantidade de lignina Klason Solúvel deve ser determinada conforme metodologia descrita por Ruzane (2005). Onde uma alíquota de 5 ml do hidrolisado obtido na determinação da Lignina Klason Insolúvel, deve ser alcalinizada com NaOH ($6,5 \text{ mol.L}^{-1}$) até pH 12,5 e após diluída com água destilada em balão volumétrico de

100 ml. A absorvância deve ser determinada em 280 nm, utilizando-se a solução de NaOH (6,5 mol.L⁻¹) como branco.

5.12 BIOTRATAMENTO DO EFLUENTE EM REATOR *AIRLIFT*

Após avaliação da necessidade de suplementação nutricional do efluente e ajuste de pH em ensaios conduzidos em frascos agitados, devem ser conduzidas fermentações em reator *airlift* de 400 mL. Devem ser utilizadas condições pré-otimizadas nos ensaios em frascos agitados (concentração de fontes de carbono e nitrogênio e melhor pH de cultivo). Deve ser empregado um fluxo de ar de 0,8 vvm, ajustado com auxílio de um fluxímetro de bolhas (bolhometro), temperatura de 28°C (controlada pela circulação de água por uma camisa externa de refrigeração), tempo de cultivo de até 40 dias, volume de trabalho de 400 mL e volume de inóculo padronizado de 40 mL.

Devem ser avaliados os parâmetros remoção de DQO, cor e fenóis totais, sendo retiradas amostras a cada 10 dias.

5.13 SÍNTESE GERAL DOS TRATAMENTOS AVALIADOS

No quadro abaixo consta uma síntese geral de vantagens e desvantagens, dos tratamentos avaliados, para o efluente de estudo.

Quadro 1 - Síntese geral dos tratamentos avaliados.

Tratamento	Vantagens	Desvantagens	Aplicação
pH	<ul style="list-style-type: none"> - Medição fácil; - Informa se o efluente está ácido ou alcalino; - Fácil ajuste. 	<ul style="list-style-type: none"> - Normalmente precisa de correção, para dar continuidade nas demais análises. 	Utilizado na maioria dos processos laboratoriais, sendo um parâmetro determinante para outras análises.
Série de sólidos	<ul style="list-style-type: none"> - Informa a quantidade de material sólido presente no efluente; - Auxiliam no controle do assoreamento dos corpos hídricos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tempo de análise longo; - Necessita materiais específicos. 	Utilizado em efluentes que podem conter material sólido, visível ou não.
DQO	<ul style="list-style-type: none"> - Avalia a quantidade de oxigênio dissolvido consumido em meio ácido que leva à degradação de matéria orgânica; - Tempo de análise curto; - Materiais tóxicos não afetam o oxidante. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alguns componentes orgânicos não são oxidados; - Erro de 5% - 10%. 	Utilizado em efluentes que precisam ser tratados e devolvidos ao meio ambiente, nas condições ambientais legais.
DBO	<ul style="list-style-type: none"> - Informa real potencial poluidor do efluente em termos de matéria orgânica; - Método que se aproxima do ambiente natural. 	<ul style="list-style-type: none"> - Materiais tóxicos matam os microrganismos; - Tempo de análise longo; - Necessidade de controle de pH e temperatura. 	Utilizado em efluentes que precisam ser tratados e devolvidos ao meio ambiente, nas condições ambientais legais.
Fenóis totais	<ul style="list-style-type: none"> - Informa quais componentes fenólicos faz parte do efluente, potenciando o tratamento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vasto espectro de metodologias é empregado, o que pode levar a resultados errôneos e não comparáveis. 	Caracterizado em amostras com estruturas de carbono, como efluentes da indústria da madeira e curtimento de couro.
Série nitrogenada	<ul style="list-style-type: none"> - Informa se o efluente de estudo contém poluentes nitrogenados, que em valores elevados é contaminante aos seres vivos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tempo de análise longo; - Necessidade de equipamentos específicos. 	Caracterizado em amostras que podem conter poluentes nitrogenados, muito encontrados nos fertilizantes.
Cor	<ul style="list-style-type: none"> - Indicador visível da qualidade do efluente; - Medição e comparação fácil. 	<ul style="list-style-type: none"> - Variação de técnicas, sendo necessário conhecimento sobre o material de estudo, para melhor resultado. 	Utilizado em efluentes, onde a cor é um determinante de tratamento.
UV-VIS	<ul style="list-style-type: none"> - Informa a quantidade de luz absorvida pela amostra, medindo a eficácia do tratamento por comparação. 	<ul style="list-style-type: none"> - Necessidade de equipamentos específicos; - Conhecimento para interpretação dos resultados. 	Utilizado no tratamento de efluentes, de diferentes áreas, para acompanhar eficácia e potencialização do processo.

FT-IR	- Investiga a composição química da amostra e assim, potencializa o tratamento.	- Necessidade de equipamentos específicos; - Conhecimento para interpretação dos resultados.	Utilizado no tratamento de efluentes, de diferentes áreas, para acompanhar eficácia e potencialização do processo.
Lignina	- Informa a quantidade de lignina presente na amostra, direcionando ao melhor tratamento.	- Necessidade de equipamentos específicos; - Conhecimento para interpretação dos resultados.	Caracterizado em amostras com alta carga de lignina, como a indústria madeireira.
Biotratamento em reator <i>airlift</i>	- Aparelho de alta eficácia para tratamentos de efluentes e reduções de parâmetros nocivos, utilizando a combinação de ar, com microbiota específica.	- Necessidade de equipamentos específicos; - É necessária uma razão particular entre o volume e gás presente na fase líquida e o volume total de dispersão.	Utilizado no tratamento de efluentes, de diferentes áreas, com ou sem microbiota.

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Os tratamentos descritos no Quadro 1 sintetizam as principais vantagens, desvantagens e aplicações mais usuais dos processos de caracterização de efluentes, sendo descritos de maneira recorrente em artigos e trabalhos publicados sobre o assunto, além de serem indicativos essenciais para o planejamento do trabalho, bem como tratamento do resíduo.

De acordo com Santos (2014) a medida do pH é uma das práticas mais frequentemente utilizadas nos laboratórios de análises, pois, esse parâmetro é de importância vital no controle de todos os tipos de tratamento de águas residuárias, onde variações acentuadas de pH podem afetar a flora e a fauna de uma massa d'água.

Além disso, as análises rotineiras de DQO e DBO servem de parâmetros sobre o próprio ciclo do carbono, revelando grande importância no monitoramento do tratamento de efluentes, a fim de adequar o processo de tratamento aos padrões de emissão de acordo com a legislação ambiental (Resolução CONSEMA 128/2006, Resolução CONAMA 430/2011).

6 CONCLUSÃO

O principal objetivo do trabalho foi demonstrar, por meio de referencial teórico, a eficácia do fungo *Lasiodiplodia theobromae* MMPI no tratamento de efluente da indústria madeireira, além da descrição dos principais processos aplicados na indústria. O trabalho descreve a técnica de biorremediação, onde o efluente gerado pelas indústrias de madeiras é tratado com ajuda de microrganismo vivo, para que o efluente consiga ser descartado dentro da legislação ambiental vigente.

De acordo com diversos estudos, a aplicação do tratamento biológico utilizando o fungo filamentosso *Lasiodiplodia theobromae* MMPI em reator *airlift* é mais eficaz na remoção de DQO, teor de fenóis totais, e cor, que o tratamento em incubadora orbital. Estudos também demonstram que através de análise de infravermelho (FT-IR) após tratamento em reator *airlift* em condições aprimoradas, há a redução da absorbância em todo o espectro, confirmando a extensão da degradação verificada pelo parâmetro de DQO. Ademais, a toxicidade aguda do efluente, deve ser significativamente reduzida em 99% após tratamento biológico, sugerindo extensiva degradação de compostos intermediários promotores de efeito tóxico.

Além disso, apresenta as principais análises laboratoriais que devem ser realizadas, para obter o tratamento do efluente oriundo da indústria madeireira. O principal resultado esperado, na prática, é que o fungo filamentosso *Lasiodiplodia theobromae* MMPI seja eficaz no tratamento de efluentes da indústria de compensado, apresentando parâmetros de qualidade de modo a permitir o descarte e/ou reuso da água, respeitando a legislação ambiental. De maneira geral, a utilização de fungos apresenta resultados promissores para biorremediação de efluentes da indústria de compensado, possuindo potencial para aplicação no tratamento deste efluente nas condições do estudo.

REFERÊNCIAS

ABIMCI. **Estudo Setorial 2009: Ano Base 2008**. Curitiba. 2009.

ALVES, FABIANO. **Modelagem e simulação de biorreator operando com fungos *Trametes versicolor* para produção de enzimas lacase**. 2010. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Departamento de Centro Universitário, Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2010.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard Methods for the Examinations for Water and Wastewater**. Whashington, D.C: 21th Centennial Edition, 2005.

ANDRADE, JULIANO A.; AUGUSTO, FABIO; JARDIM, ISABEL CRISTINA S. F. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. **Eclética Química**, São Paulo, v. 35, n. 3, 2010.

ARAÚJO, K. S. et al. Processos oxidativos avançados: uma revisão de fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais. **Rev. Ambient. Água**, v. 11, n. 2, 2016.

ASTM METHODS – American Society For Testing and Materials. **Methods**. D.1106- 56: Standard Test Method for Lignin in Wood, 1966.

BAGATINI, M. D. et al. Uso do sistema teste de Allium cepa como bioindicador de genotoxicidade de infusões de plantas medicinais. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 17, n. 3, p. 444-447, 2007.

BANERJEE, G. et al. Improving enzymes for biomass conversion: a basic research perspective. **BioEnergy Research**, v. 3, n. 1, p. 82-92, 2010.

BARQUETTE, STAEL; CHAOUBAH, ALFREDO. Pesquisa de Marketing. São Paulo: Saraiva, 2007.

BARRETO-RODRIGUES, MÁRCIO; AGUIAR, CAROLINE M.; DA CUNHA, MÁRIO ANTÔNIO ALVES. Biotreatment of an effluent from a wood laminate industry using *Lentinula edodes* UEC 2019. **Journal of Hazardous Materials**, v. 164, p. 1556–1560, 2009.

BORBA, FERNANDO H.; SOTTORIVA, PATRÍCIA R. S.; MÓDENES, APARECIDO N. Tratamento do efluente madeireiro por processo foto-Fenton. **Estudos tecnológicos**, v. 4, n. 1, p. 12-20, 2008.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº 430/11**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, SEMA, 2011.

CASANOVA MONTEIRO, F.; DE JESUS CUBAS, P.; SENA KOSERA, V.; HAAS LEANDRO MONTEIRO, J. F.; FUJIWARA, S. T. Photocatalytic activity of BiFeO₃ in pellet

form synthesized using solid state reaction and modified Pechini method. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 367, p. 390-396, 2018/12/01/ 2018.

CARDOSO, JOSÉ E. et al. Ocorrência endofítica de *Lasiodiplodia theobromae* em tecidos de cajueiro e sua transmissão por propágulos. **Summa phytopathol**, v.35, n.4, 2009.

CHAGAS-SPINELLI, Alessandra C. O. **Biorremediação de solo argiloso contaminado por hidrocarbonetos poliaromáticos provenientes de derrame de óleo diesel**. 2007. 174 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Programa de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

CHIUSOLI, CLÁUDIO LUIZ; STAFANO, SILVIO ROBERTO. Sistema de informação de marketing: importância e uso das informações de marketing na tomada de decisão. **Espacios**, v.37, n.11, 2016.

COUVERT, A et al. Hydrodynamic and mass transfer study in a rectangular three- phase air-lift loop reactor. **Chemical Engineering and Processing**, v. 43, p. 1381– 1387, 2004.

CPPA - Canadian Pulp and Paper Association. **Technical Section Standart Method**, H5P, 1975.

DURIGAN, M. A. B. Degradação de poluentes emergentes por processos Fenton e foto-Fenton. **Quim. Nova**, v. 35, n. 7, p. 1381-1387, 2012.

EK, MONICA; GELLERSTEDT, GORAN; HENRIKSSON, GUNNAR. **Wood Chemistry and Wood Biotechnology**. Pulp and Paper Chemistry and Technology, 2009.

EL-SHAHABY A.O.; ABDEL MIGID H. M.; SOLIMAN M. I.; MASHALY I. A. Genotoxicity screening of industrial wastewater using the *Allium cepa* chromosome aberration assay. **Pak J Biol Sci**, v. 6, p. 23-28, 2003.

ESPERANÇA, Mateus Nordi. **Influência de aspectos geométricos na hidrodinâmica e transferência de oxigênio de biorreatores airlift de circulação interna**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.

ESPOSITO, E.; AZEVEDO, J. L. **Fungos: uma introdução à biologia, bioquímica e biotecnologia**. Caxias do Sul: Educs, 2004.

FALADE, A. O. et al. Lignin peroxidase functionalities and prospective applications. **MicrobiologyOpen**, v. 6, n. 1, 2017.

FARR, D. F.; ROSSMAN, A. Y. Fungal Databases: U.S. National Fungus Collections, **ARS, USDA**, 2018.

FASANELLA, C. C. **Ação das enzimas ligninolíticas produzidas por *Aspergillus niger* e *Penicillium sp.* em bagaço de cana-de-açúcar tratado quimicamente**. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2009.

FATIMA, R.A.; AHMAD, M. Genotoxicity of industrial wastewaters obtained from two different pollution sources in northern India: A comparison of three bioassays. **Mutation**

Research, v.609, p.81-91, 2006.

FENIMAN, D. P. G.; FERRARI, F. TRIA, F. D. K.; BALSALOBRE, T. W. A.
Biodegradação Ambiental: Petróleo e Pesticidas. Disponível em: <http://www.herbario.com.br/bot/toxicologia/biodegre.htm>. Acesso em: 20 fev. 2019.

FONSECA, M. M.; TEIXEIRA, J. A. **Reactores Biológicos: Fundamentos e Aplicações**. LIDEL- Edicoes Tecnicas, Lda. Lisboa, 2007.

GIL, ANTÔNIO CARLOS. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GRANT, W.F. Chromosome aberration assays in *Allium*. **Mutation Research**, v. 99, p. 273-291, 1982.

HASS CAETANO LACERDA, E.; MONTEIRO, F. C.; KLOSS, J. R.; FUJIWARA, S. T. Bentonite clay modified with Nb₂O₅: An efficient and reused photocatalyst for the degradation of reactive textile dye. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, v. 388, p. 112084, 2020/02/01/ 2020.

JACQUES, R. J. S.; SILVA, K. J.; BENTO, F. M.; CAMARGO, F. A. O. Biorremediação de um solo contaminado com antraceno sob diferentes condições físicas e químicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 2, p. 310-317, 2010.

LEME, D.M.; MARIN-MORALES, M.A. Avaliação do potencial citotóxico e mutagênico de águas e sedimentos do rio Guaecá, São Sebastião – SP, após impacto de vazamento de oleoduto da região, utilizando o sistema-teste de *Allium cepa*. In: **IX Congresso Brasileiro de Ecotoxicologia**, São Pedro/SP, 2006.

LIMA, DANUSIA F.; OLIVEIRA, OLÍVIA M. C.; CRUZ, MANUEL J. M. Utilização Dos Fungos Na Biorremediação De Substratos Contaminados Por Petróleo: Estado Da Arte. **Cadernos de Geociências**, v. 8, n. 2, 2011.

LOPES, M. C. M. et al. Physicochemical, toxic and microbiological study associated with bioremediation in Riacho Reginaldo waters in Maceió. *Brazilian Applied Science Review*, 3, n. 4, p. 1937-1948. 2019.

MARIANO, ADRIANO P. **Avaliação do potencial de biorremediação de solos e de águas subterrâneas contaminados com óleo diesel**. 2006. 147 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

MARTINS, G.A. & PINTO, R.L. **Manual para elaboração de trabalhos acadêmicos**. São Paulo: Atlas, 2001.

MATSUMOTO, S.T. et al. Genotoxicity and mutagenicity of water contaminated with tannery effluents, as evaluated by the micronucleus test and comet assay using the fish *Oreochromis niloticus* and chromosome aberrations in onion root-tips. **Genetics and Molecular Biology**, v.29, p.148-158, 2006.

MENEGUZZI, ÁLVARO. Estudo do Efluente de Cozimento de *Pinus* Visando o

Reaproveitamento de Subprodutos. **Dissertação** (Pós-Graduação em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

MEYER, Vera. Genetic engineering of filamentous fungi – Progress, obstacles and future trends. **Biotechnology Advances**, v. 26, n. 2, p. 177-185, 2008.

NAPOLEÃO, D. C. et al. Degradação do Contaminante Emergente Paracetamol Empregando Processos Oxidativos Avançados. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 725-734, 2015.

MIGID, A.H.M.; AZAB, Y.A.; IBRAHIM, W.M. Use of plant genotoxicity bioassay for the evaluation of efficiency of algal biofilters in bioremediation of toxic industrial effluent. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.66, p.57-64, 2007.

MUNOZ, M. et al. Application of intensified Fenton oxidation to the treatment of sawmill wastewater. **Chemosphere**, v. 109, p. 34–41, 2014.

NEYENS, E.; BAEYENS, J. A review of classic Fenton's peroxidation as an advanced oxidation technique. **Journal of Hazardous Materials**, v. 98, n. 3, p. 33- 50, 2003.

NOGUEIRA R. F. P.; TROVÓ A. G.; SILVA M. R. A.; VILLA R. D. Fundamentos e aplicações ambientais dos processos Fenton e foto-Fenton. **Quím. Nova**, v. 30, n. 2, p. 400-408, 2007.

NUNES, Fátima M. et al. A new eremophilane-type sesquiterpene from the phytopatogen fungus *Lasiodiplodia theobromae* (Sphaeropsidaceae). **J. Braz. Chem. Soc.**, v. 19, n. 3, p. 478-482, 2008.

PAYNE, C. M. et al. Fungal cellulases. **Chemical Reviews**, v. 115, n. 3, p. 1308– 1448, 2015.

PEREIRA, ÂNGELA FILIPA CAMPOS. **Estudo de transferência de massa em sistemas multifásicos numa coluna air-lift**. Tese (Mestrado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2012.

PIGNATELLO, J. J.; OLIVEROS, S. E.; MACKAY, A. Advanced oxidation processes of organic contaminant destruction based of the Fenton reaction and related chemistry. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 36, p. 1-84, 2006.

RAD L. R.; HARIRIAN I.; DIVSAR F. Comparison of adsorption and photo-Fenton processes for phenol and paracetamol removing from aqueous solutions: Single and binary systems. **Spectrochim Acta A**, v. 136, n. 5, p. 423-428, 2015.

RÊGO, TAMIRIS JOANA DOS SANTOS. **Espécies de *Lasiodiplodia* associadas à morte descendente da videira do nordeste do Brasil e diversidade genética de *Lasiodiplodia theobromae***. 2018. 96 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.

REINA A. C.; SANTOS-JUANES L; GARCÍA SANCHEZ J. L.; CASAS LÓPEZ J. L.; MALDONADO RUBIO M. I.; LI PUMA G.; SANCHEZ PEREZ J. A. Modelling the photo-Fenton oxidation of the pharmaceutical paracetamol in water including the effect of photon

absorption (VRPA). **Appl Catal B-Environ**, v. 166-167, p. 295-301, 2015.

RODRIGUES, K. et al. Remoção de BTEX por fungos em reator aeróbio de escoamento contínuo. **Arquivos Do Instituto Biológico**, v. 22, n. 4, p. 809–820, 2017.

RODRIGUEZ, GUILHERME YOUSSEF. **Avaliação de parâmetros globais de desempenho de biorreatores pneumáticos através de fluidodinâmica computacional**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.

RUZANE, DENISE SANTOS. **Obtenção de polpas de dissolução por processos Organosolv a partir de palha ou bagaço de cana de açúcar**. 2005.132 f. Tese (doutorado em biotecnologia) - Faculdade de Engenharia de Lorena - USP, Lorena, 2005.

SACCOMAN, N. et al. Levantamento de fungos ocorrentes em madeira serrada de jatobá extraída da Amazônia Meridional. **Rev. Ciênc. Agroamb**. v.14, n.2, 2016.

SANTOS, HELDIANE SOUZA. **Remoção De Elementos Tóxicos Em Efluente Proveniente Da Descontaminação De Madeira Tratada Com Arseniato De Cobre Cromatado**. 2014. 142 f. Tese (doutorado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, 2014.

SCHMIDELL, W. Agitação e aeração em biorreatores. **Biotecnologia Industrial**, v. 2, p. 277-331, São Paulo: Edgard Blücher, 2001.

SILVA, BRUNO COUTO et al. Qualidade de Compensados Fabricados com Adesivos à Base de Tanino-formaldeído de *Pinus oocarpa* e Fenol-formaldeído. **FLORAM**, v. 19, n. 4, p. 511-519, 2012.

SINGH, HARBHAJAN. **Mycoremediation: fungal bioremediation**. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. 617p. 2006.

SOTTORIVA, P. R. S. **Remediação de Efluentes Têxteis por Processos Oxidativos Avançados Integrados a Lodos Ativado**s. 2006. 192 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia Industrial) - Faculdade de Engenharia Química de Lorena - USP, Lorena, 2006.

STADLER, K. et al. Análise do processo produtivo e geração de resíduos em uma indústria de painéis compensados. **Acta Ambiental Catarinense**, v. 6. n. 1, p. 45- 55, 2009.

TORRES, F. A. G. et al. **Enzimas em biotecnologia: Produção, aplicação e mercado**. Editora Interciência: Rio de Janeiro, 2008.

TRIBOT, A. et al. Wood-lignin: Supply, extraction processes and use as bio-based material. **European Polymer Journal**, v. 112, n. 1, p. 228-240, 2019.

TROVÓ, A. G.; DALLA VILLA, R.; NOGUEIRA, R. F. P. Utilização de reações foto-fenton na prevenção de contaminações agrícolas. **Quim. Nova**, v. 28, n. 5, p. 847- 851, 2005.