

# **AVALIAÇÃO DA PEROXIDASE EXTRAÍDA DE FUNGOS NA DESCOLORAÇÃO DE CORPOS HÍDRICOS**

Lucas Fontanetti Martins – luc\_fm\_98@outlook.com

Mariana Campos Volkers – marianavolkers@gmail.com

Matheus Vieger Ribeiro – matheus.vieger.ribeiro@gmail.com

Otávio Henrique de Queiroz Pinto – otaviohq@hotmail.com

Orlando Monezzi Júnior (Orientador) – orlando.monezi@mackenzie.br

## **RESUMO**

O projeto consiste no estudo e avaliação da enzima Peroxidase extraída da família de fungos denominada Basidiomicetos na remoção do corante azul reativo provenientes de indústrias têxteis. Foram realizados estudos com a literatura vigente e traçados paralelos importantes que compilam os recentes estudos nesta área da engenharia ambiental. O trabalho busca reunir informações essenciais que subsidiarão futuras pesquisas, desenvolvendo objetivos essenciais para sua completude em analisar o desempenho da Peroxidase na descoloração de corpos hídricos provenientes de indústrias têxteis: avaliar o desempenho da enzima na remoção de corantes azuis reativos e comparar dados obtidos com a solução proposta pelo tratamento convencional. Para alcançar estes objetivos, fez-se extensa revisão bibliográfica do estado da arte, conectando diversos manuscritos a fim de aproximar os possíveis resultados com dados obtidos experimentalmente, mas reforçando a necessidade de realização deles para confirmar os achados descritos neste artigo. Através das pesquisas, foi possível observar que as enzimas possuem potencial de efetividade para descolorir efluentes hídricos, porém com devida cautela pois para cada peroxidase e corante, exige uma metodologia apropriada uma vez que há a possibilidade de a enzima aumentar as taxas de toxicidade, exigindo ensaios experimentais para levantar os parâmetros ideais para que as técnicas possam ser usadas para remover os corantes dos esgotos de indústrias têxteis.

Palavras-chave: Peroxidase. Despoluição. Indústria Têxtil.

## **EVALUATION OF EXTRACTED PEROXIDASE OF FUNGI TO HYDRIC BODIES DECOLORATION**

### **ABSTRACT**

The project consists of the Peroxidase enzyme, extracted from the Basidiomycetes fungi family, study and evaluation to remove the reative blue dye from the textile industry. It was realized studies with actual literature and crucial parallels are drawn that compile the recent articles on this área of

Ambiental Engineering. The research has the objective gather essential information that will subsidize future research, developing important specifics objectives for the completeness performance analysis of Peroxidase for water decoloration: to evaluate the enzyme performance to remove reative blue dye of the water and compare the obtained data with the conventional treatment. The methodology consists to review the academic research that approaches this subject to approximate the possible results with obtained datas, reinforcing the necessity to realize them to confirm the findings described on this article. Through research, it was possible to observe that the enzymes have the potential to effectively decolorize water effluents, but with due caution because for each peroxidase and dye, it requires an appropriate methodology since there is the possibility that the enzyme increases toxicity rates, requiring experimental tests to raise the ideal parameters so that the techniques can be used to remove dyes from sewers in textile industries.

Keywords: Peroxidase. Depollution. Textile Industry

# 1 INTRODUÇÃO

Podem ser diversos os usos de água por indústrias, dependendo do tipo de serviço prestado, da matéria que precisa ser gerada e de como o recurso líquido é utilizado. Contudo, é certo que a água usada no processo se contamina por resíduos industriais, dando origem aos conhecidos efluentes líquidos.

Despejos industriais causam sérias alterações na qualidade da água que os recebe, degradando-se e causando problemas ambientais, sociais e econômicos, uma vez que este curso d'água poderia servir de fonte de renda a diversas pessoas, fonte de líquidos e habitat a diversos espécimes que compõem a fauna e a flora, onerando as contas públicas para recuperação do corpo receptor.

Pensando nessas e em outras dificuldades, faz-se cada dia mais necessária a criação e o estudo de novas tecnologias que recuperem os agentes poluídos de maneira eficiente, segura e econômica, em especial, soluções naturais. Dentre as muitas soluções propostas, há aquela que utiliza o substrato da enzima Peroxidase (hidrogênio-peróxido oxidoreduases).

*“Peroxidases [...] são predominantemente proteínas heme que utilizam peróxido de hidrogênio ou hidroperóxidos orgânicos como co-substrato para oxidar uma variedade de substratos orgânicos e inorgânicos.”* (ELY; KEMPKA; SKORONSKI, 2016). Essa proteína é largamente encontrada em diversos corpos naturais, como frutas e pequenas plantas e seu uso no tratamento de poluentes hídricos está começando a ser mais pesquisado atualmente devido a estudos recentes, como os de Ribeiro (2013) e Souza (2012), que afirmam que seu uso é extremamente eficiente no tratamento de corantes, fenóis, hormônios e alguns outros compostos tóxicos.

Segundo a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecções (ABIT), de acordo com dados publicados em dezembro de 2019, o faturamento anual da cadeia têxtil e de confecção foi de US\$48,3 bilhões. Ainda foi afirmado que a produção anual ultrapassa os 1,2 milhão de toneladas. Tal marca foi obtida, dentre outras razões, devido à indústria têxtil ser o 2º maior empregador da indústria de transformação e o alto investimento – aproximadamente US\$900 milhões. Sendo responsáveis por confeccionar vestimentas, artigos de uso doméstico e de aplicações técnicas, imagina-se que a alta produção e demanda acarretem, por consequência, uma grande produção de resíduos.

A atividade industrial é popularmente conhecida por sua alta taxa de poluição do ar e das águas, diminuindo a qualidade de vida, a produtividade de empresas e causando sérios problemas ambientais. Segundo Beltrame (2000), para produzir uma tonelada de produto têxtil, consome-se entre 200 e 270 toneladas de água, altamente contaminados por cerca de 90% dos químicos utilizados no beneficiamento têxtil.

As indústrias têxteis emitem materiais particulados diversos, indo desde fenóis, até corantes, um dos resíduos com maior fator de preocupação em relação à contaminação ambiental, que garantem

cores variadas as produções do setor. Yanto e Tachibana (2014) afirmam que durante o processo de tingimento, até 15% do material é perdido, sendo que até 20% são diretamente liberados no ambiente. Assim, o tratamento adequado do leito receptor seria aquele que pudesse utilizar enzimas oxirredutases para os diversos fins, tais como as Peroxidases.

Portanto, este artigo busca analisar o desempenho da Peroxidase, extraída da família Basidiomicetos, na descoloração de corpos hídricos devido a despejos de indústrias têxteis, impondo a avaliação do desempenho isolado da enzima na remoção do corante azul reativo, comparando com os dados obtidos com a solução convencional realizado pela indústria.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 PARÂMETROS SANITÁRIOS**

Segundo Sandra Ruri Fugita (2018), em parceria com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), explica que os parâmetros sanitários são utilizados como indicadores para dimensionar e controlar a poluição por efluentes industriais. É essencial ressaltar que as características destes estão intrinsecamente relacionadas com a composição das matérias primas, das águas de abastecimento e do processo industrial. Esses indicadores são divididos entre parâmetros químicos, físicos e microbiológicos. Alguns parâmetros sanitários são listados abaixo para fins de conhecimento:

- a) Poluição térmica: causada por perdas de calor e/ou por reações químicas exotérmicas no processo industrial de resfriamento, sendo a temperatura a grandeza de controle deste parâmetro;
- b) Odor e sabor: causada pelas reações de fermentação que ocorrem devido a mistura dos resíduos com o esgoto. Este processo pode ocorrer com compostos orgânicos, utilização de solventes ou, ainda, amônia gerada por chorume;
- c) Cor: trata de aparência visual dos resíduos gerados e lançados no corpo hídrico. Devem ser tratados e controlados para que não afetem negativamente a fauna e flora presentes na água, estas dependentes das reações causadas por luz solar incidente no efluente líquido;
- d) Turbidez: trata-se do grau de atenuação de intensidade de um feixe de luz sofre ao atravessar a água. A turbidez ocorre por absorção e espalhamento das partículas que provocam, no fluido, comprimentos de onda maiores que a luz;
- e) Série de sólidos: representam toda matéria presente em uma amostra como resíduo, independentemente de como esta chegou ao corpo hídrico.

## 2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS

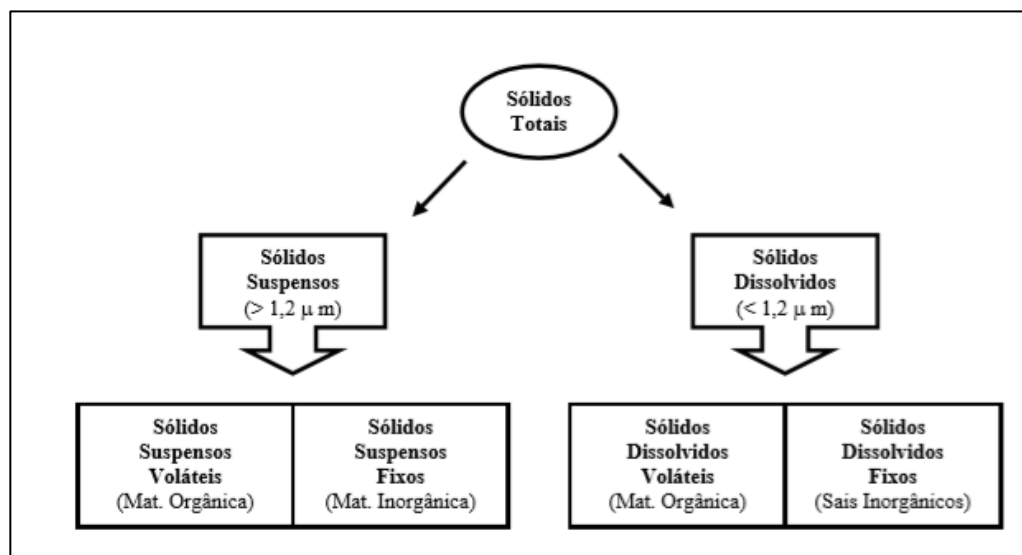
Os resíduos sólidos encontrados no esgoto industrial são classificados em substâncias dissolvidas – partículas que possuem diâmetro inferior a  $1,2 \mu\text{m}$  – e em suspensão, na qual as partículas possuem diâmetro igual ou superior a  $1,2 \mu\text{m}$ . Podem possuir composição orgânica ou não.

Os sólidos suspensos podem ser subdivididos em:

- Coloidais: quando a interferência da camada de solvatação impede o crescimento da partícula;
- Sedimentáveis/Flutuantes: quando as partículas se separam da fase líquida por conta do tamanho e densidade delas.

De acordo com sua natureza química, podem ser subdivididos em sólidos suspensos e sólidos dissolvidos, sendo ambos divididos em fixos (matéria inorgânica) ou voláteis (matéria orgânica). Abaixo, na figura 01, um fluxograma mostrando as subdivisões citadas:

Figura 01 – Classificação de resíduos sólidos industriais



Fonte: JORDÃO, 1985 *apud* GIORDANO (2005)

### 2.1.1 Matéria Orgânica

A CETESB (2019) explica que a matéria orgânica, presente na fração volátil dos sólidos, pode ser medida através da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que consiste na quantidade de oxigênio necessário para a biodegradação da matéria orgânica presente no líquido; da Demanda Química de Oxigênio (DQO) a qual determina a parcela de oxigênio utilizada para a oxidação química da matéria orgânica ou do Carbono Orgânico Total (CTO), usado no caso de corpos hídricos e água despoluída e de reuso.

Ainda, há outros componentes orgânicos que podem ser analisados de forma direta. Como exemplo, cita-se: detergentes, fenóis, óleos e graxas.

### 2.1.1.1 Corantes

Corantes são substâncias químicas produzidas por meio de fontes naturais ou de maneira sintética, podendo ser aplicadas diretamente nos substratos (ZANONI; YAMANAKA, 2016). Segundo a *The Ecological and Toxicological Association of Dyes and Organic Pigments Manufacturers* (ETAD), corantes são compostos orgânicos intensamente coloridas ou fosforescentes que conferem cor a um substrato por absorção seletiva de luz.

Mundialmente são produzidos, em média, 800mil toneladas por ano. São destinados a diversas indústrias como a têxtil, alimentícia, de cosméticos, farmacêutica, de plástico, de couros, fotográfica, automobilística e de papel (GANODERMAIERI; CENNAMO; SANNIA, 2005). Essas despejam cerca de 70mil toneladas em efluentes anualmente (ZHANG *et al*, 2012).

Corantes industriais podem ser classificados de duas maneiras distintas: método de classificação das fibras dos tecidos e pela estrutura química. O primeiro destes é utilizado pelo *Colour Index* (HUNGER, 2003) e, seguindo esse método, Zanoni e Yamanaka (2000) ordenam as substâncias em ácidos, azoicos, branqueadores, a cuba, diretos, dispersivos, de enxofre, pré-metalizados e reativos. Já a classificação pela estrutura química é mais bem identificada no setor têxtil (HUNGER, 2003) e é subdividido em di- e triarilmetanos; nitro, nitrosos e sulforosos; metina e polimetinas; azo; indigoide; antraquinona e ftalocianina.

A presença de corantes na água é prejudicial aos efluentes por gerarem um desequilíbrio no ecossistema. Este componente, por impedir a passagem da luz solar nas camadas mais profundas, acarreta o desequilíbrio da fotossíntese, o que resulta em uma redução na qualidade da água e causa efeitos tóxicos sobre fauna e flora aquática (LALNUNHLIMI; KRISHNASWAMY, 2016).

Boa parte dos corantes utilizados nas indústrias têxteis são descartados no processamento por conta que o composto não adere totalmente às fibras e por isso o efluente possui uma composição variável. As moléculas dos corantes que são utilizadas para tingimento na indústria têxtil são divididas em duas partes, sendo um grupo cromóforo – substância que possui muitos elétrons que tem a capacidade de absorver energia ou luz visível – e uma estrutura responsável pela fixação da coloração nas fibras. Os corantes se dividem em quatro classes conforme sua fixação, são elas ácidos, básicos, enxofre e reativos, sendo os reativos a classe mais utilizada em todo o mundo (SILVA; ROSADO, 2009).

Os corantes reativos possuem capacidade de formar ligações covalentes com um átomo de oxigênio, nitrogênio ou enxofre proveniente da fibra, fornecendo ótimas características de tingimento (ALCÂNTARA; DALVIN, 1996). Segundo Kurbus *et al* (2002), corantes reativos apresentam cores brilhantes e boa estabilidade química durante o processo de lavagem, sendo destinados ao tingimento

de celulose e algodão. A remoção deste tipo de corante de determinada solução aquosa é dificultosa, devido à sua estabilidade mediante luz, calor e agentes oxidantes, além de não serem biodegradáveis (CHOY *et al*, 1999).

### 2.1.2 Matéria Inorgânica

A matéria inorgânica é composta por átomos que não contenham carbono em sua composição (exceto ácido carbônico e seus sais). Os poluentes deste são os sais, óxidos, hidróxidos e ácidos. A análise de qualidade da presença da matéria inorgânica pode ser avaliada pela condutividade da solução.

### 2.1.3 Agentes Biológicos

Além das matérias orgânicas e inorgânicas, os agentes biológicos também aparecem como solutos em corpos hídricos, sendo esses patogênicos ou não. No caso de esgoto, agentes biológicos maléficos à saúde se fazem maioria, no qual cita-se: bactérias (sobretudo as do grupo coliformes), vírus e vermes, além de diversos microrganismos liberados por indústrias que podem levar à contaminação dos solos, lençóis freáticos e doenças propagadas através da água. Estes componentes associados levam à liberação de gases tóxicos que causam incômodos diversos que variam de acordo com as substâncias emitidas (GIORDANO, 2005).

## 2.2 BASIDIOMICETOS

Esta é a segunda maior família de fungos catalogada, abrigando cerca de 30mil espécies. Os basidiomicetos (*basidiomycota*) são utilizados para diversos fins, como a culinária. Esta evidência se deve a grande capacidade enzimática, responsável pela degradação de compostos lignocelulíticos que são xenobióticos, ou seja, apresentam difícil processo degradativo. Assim, os basidiomicetos mostram-se aliados para o trabalho de biorremediação – remover ou mitigar contaminadores do meio ambiente. Dentre os compostos lignocelulíticos, cita-se os corantes presentes nos resíduos das indústrias têxteis (SILVA, 2014).

Neste grupo, destaca-se o gênero *Pleurotus*, pertencentes à ordem *Agaricales*, por sua grande difusão natural, familiaridade com os climas tropicais e grande capacidade lignolítica com alto potencial oxirredutor, sendo responsável pela produção de enzimas como Lacases (EC), Lignina Peroxidase (LiP), Manganês Peroxidase (MnP), entre outras com grande potencial descolorante e, por ter similaridade com a lignina, são versáteis em uso e mais eficazes que o uso de consórcios de microrganismos não lignilíticos (NASCIMENTO, 2008).

Silva (2014), diz que a biorremediação promovida pelos fungos acontece por meio da degradação fúngica específica de cada espécie. Pode-se separar os processos em três:

- a) Podridão macia, degradação da celulose e hemicelulose e pouco afeta a lignina;

- b) Podridão marrom, degradação da celulose e hemicelulose e não afeta a lignina;
- c) Podridão branca, degradação atacando a lignina diretamente

A podridão branca é eficiente devido a boa parte dos corantes utilizados na indústria têxtil possuírem uma composição molecular semelhante com a da lignina presente nesses fungos, assim conseguindo enfrentar diretamente essa enzima. A utilização dos basidiomicetos provoca uma atuação aeróbica, não sendo necessário um processo de tratamento para as reações geradas.

## 2.3 ENZIMAS

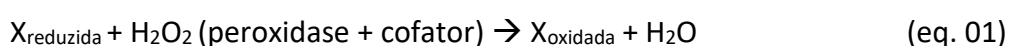
Enzimas são proteínas formadas por grandes cadeias de aminoácidos unidas por ligações peptídicas. Segundo Aitken (1993), as enzimas exercem funções vitais de controle dos processos de transformação de nutrientes em material celular e participam da quebra de nutrientes complexos.

Apresentam vantagens em relação a catalisadores químicos por serem específicas e atuarem em condições amenas de temperatura e pH. Ainda, estão presentes em todas as células vivas, podendo ser encontradas com extrema facilidade. Por exemplo, há a Peroxidase que pode ser extraída dos subprodutos de atividades agroindustriais, tais como: farelo de arroz e soja, casca de soja, raízes de nabo, entre outras (ZANOTTO, 2003).

### 2.3.1 Peroxidase

As Peroxidases fazem parte do grupo de enzimas oxidativas, que oxidam substratos orgânicos e tendo como uma molécula aceitadora de elétrons: peróxido de hidrogênio. Esta é uma enzima ligninolítica que possui capacidade de remoção de grupamentos fenólicos, aminas aromáticas de soluções aquosas e de descoloração de efluentes industriais (FORGIANARINI, 2006).

A reação é denominada peroxidação e é descrita pela seguinte equação:



Em que X representa a molécula que sofre peroxidação (substrato).

Estas enzimas podem ser encontradas em diversos recursos naturais e podem ser utilizadas no tratamento de contaminantes específicos presentes em efluentes líquidos, tais como: compostos fenólicos, aminas aromáticas, corantes têxteis e hidrocarbonetos policíclicos aromáticas.

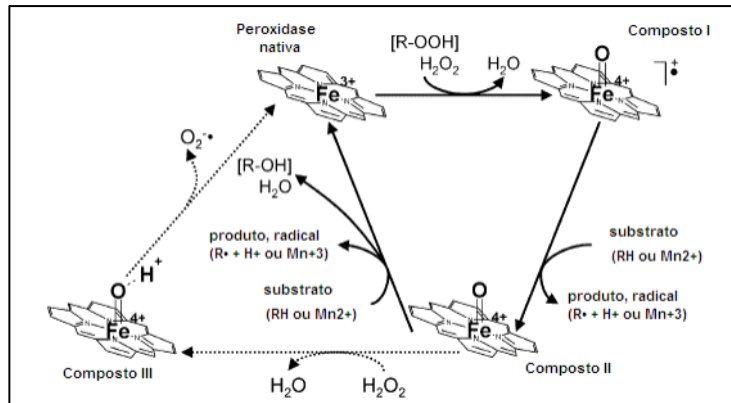
De acordo com diversos estudiosos, como, por exemplo, Passardi *et al* (2005) e Hamid (2009) que afirmam que as Peroxidases possuem potencial de aplicação nos mais diversos processos industriais devido ao seu potencial biológico através do poder de substituir os processos químicos atuais por bioquímicos, isto é, os que fazem uso de matérias renováveis. E são estes trabalhos que são responsáveis pelas recentes propostas de aplicação dessas enzimas em tratamento de águas contendo compostos fenólicos e outros resíduos industriais.

Segundo Nascimento (2008), as enzimas peroxidases mais encontradas nos fungos basidiomicetos são:



- a) Lignina Peroxidase: possuem grande capacidade de separação dos substratos, possuindo ferro que sofre oxidação de acordo com seu processo de catálise;
- b) Manganês Peroxidase: não possuem capacidade de atuar sobre estruturas não fenólicas, tornando-se dependentes de hidrogênio para reações.

Figura 02 – Esquema simplificado do ciclo catalítico das peroxidases



Fonte: NASCIMENTO (2008)

### 2.3.1.1 Tratamento de efluentes industriais com Peroxidase

O uso de enzimas no tratamento de águas foi proposto ainda no século XX. Desde então, o processo vem sendo investigado em demasia por ser uma alternativa ao tratamento convencional e por apresentar vantagens (COOPER; NICELL, 1996).

Este interesse no tratamento enzimático de efluentes existe por se observar o aumento da concentração de poluentes orgânicos xenobióticos e persistentes nos corpos hídricos. Isto diminui a possibilidade da utilização de tratamentos químicos convencionais de maneira eficaz. Em adição, como as enzimas são catalisadores naturais, apresentam vantagens interessantes quando usadas no tratamento de efluentes industriais: podem ser aplicadas em processos com alta ou baixa taxa de poluentes; podem operar em longa amplitude de pH, salinidade e temperatura; não há casos de efeitos de choque; não há necessidade de aclimação de biomassa; apresentam redução no volume de lodo e ainda há facilidade em controlar o processo (COOPER; NICELL, 1996).

A potencial de aplicação da enzima Peroxidase no tratamento de efluentes nasceu da Horseradish Peroxidase (HRP), originando trabalhos acadêmicos que buscam evidenciar a eficiência desta enzima na descoloração de corantes e efluentes. Contudo, em todos, mostrou-se importante conhecer as dosagens de  $H_2O_2$  e sua enzima, o pH e a temperatura de reação ótimos – desde sua extração até o processo despoluidor –, afinidade e tempo de contato com determinado substrato, dentre outras premissas para desenvolver um estudo apurado ou um sistema de tratamento de efluente com a enzima Peroxidase (COOPER; NICELL, 1996).

## 2.4 INDÚSTRIA TÊXTIL

A indústria têxtil brasileira é essencial à economia, representando cerca de 16,7% dos empregos do setor industrial do país (ABIT, 2020). Porém, contribui de forma significativa para a contaminação do meio ambiente devido à grande produção de resíduos com baixos níveis de degradação e os gastos de recursos naturais.

O setor industrial têxtil é um dos que mais utiliza água, consumindo até 100 litros por quilo de tecido produzido no processo de tintura e acabamento. Durante o tingimento, fase que utiliza corantes industriais, é quando mais contaminantes são lançados ao ambiente, sobretudo devido ao fato de serem lançados compostos variegados e complexos.

Os efluentes produzidos são coloridos devido a não fixação adequada de alguns corantes nas fibras durante o processo de tingimento e a presença de alguns compostos orgânicos e inorgânicos, além de metais pesados. Isso acarreta a elevação dos níveis de DQO, DBO, Sólidos em Suspensão Total (SST) e Oxigênio Dissolvido (OD) (CORREIA *et al*, 1994).

### 2.4.1 Processos da indústria têxtil

Os processos da indústria têxtil são reunidos em três etapas: fiação, tecelagem e beneficiamento, variando os processos dependendo do segmento.

No processo de fiação, são confeccionados os fios a serem usados posteriormente na tecelagem. Existem dois tipos de fibras utilizadas comercialmente, naturais e químicas. De acordo com a ABIT (2008), 60% do consumo industrial foram de fibras naturais e, 40%, químicas. Em adição, houve uma tendência ao aumento do uso das fibras naturais em relação aos anos anteriores.

As fibras naturais – algodão, linho, cânhamo, lã e seda – são as matérias-primas da indústria têxtil. O setor, nacionalmente, consumiu 900mil toneladas do produto em 2017.

As fibras químicas são subdivididas em artificiais e sintéticas. São produzidas através de polímeros naturais ou sintéticos, originais do petróleo (GUIMARÃES, 2014). Neste grupo, o poliéster ocupa lugar de destaque na produção de tecidos devido sua facilidade de ser misturado com outras fibras.

O processo de tecelagem é constituído por três tipos: tecido plano, de malha e não tecido. O primeiro é realizado através de entrelaçamento dos fios paralelamente, formando ângulos de 90°; o segundo caracteriza-se pelo entrelaçamento dos fios em forma de laçadas e, o terceiro, utiliza mantas fibrosas estendidas.

O beneficiamento é o processo final, onde são realizadas as etapas:

- d) Pré-tratamento: processo que elimina as impurezas naturais ou agregadas;
- e) Tingimento: consiste na aplicação do corante no substrato;

- f) Estamparia: processo de aplicação de cores ou desenhos localizados. Demanda um complexo pré e pós-tratamento;
- g) Acabamento

### 2.4.2 Caracterização dos efluentes têxteis

O setor industrial têxtil é um dos que mais utiliza água, consumindo até 100 litros por quilo de tecido produzido no processo de tintura e acabamento. Durante o tingimento, fase que utiliza corantes industriais, é quando mais contaminantes são lançados ao ambiente, sobretudo devido ao fato de serem lançados compostos variegados e complexos.

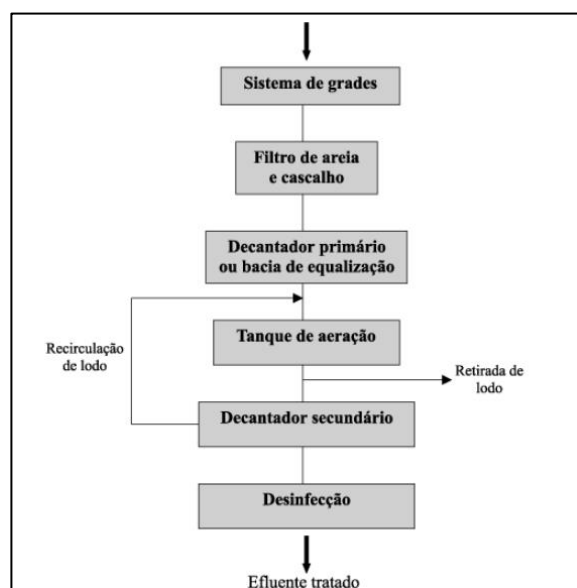
Segundo Beltrame (2000), estes são os principais resíduos lançados durante o tingimento:

- a) Cianetos. Estes podem camuflar o resultado medido da DQO, necessitando da utilização de sulfato de mercúrio para evitar a sua interferência no resultado;
- b) Cloretos;
- c) Fenóis, utilizados como preservativos para os corantes;
- d) Sulfetos;
- e) Corantes.

### 2.4.3 Tratamento dos efluentes têxteis

No Brasil, os processos de tratamentos mais utilizados são os físico-químico e biológico (BELTRAME, 2000). O processo mais empregado nos efluentes de indústrias têxteis é o de lodos ativados (figura 03) que consiste na mistura do efluente com microrganismos que são agitados e aerados com utilização de um tanque de aeração, acarretando a decomposição da matéria orgânica pelo metabolismo das bactérias presentes.

Figura 03 – Esquema de tratamento de lodos ativados



Fonte: KUNZ; PERALTA-ZAMORA (2002)

Este método é bastante eficiente quando se trata da remoção da carga de corantes, atingindo cerca de 80% de descoloração (KUNZ *et al*, 2002). Contudo, apresenta desvantagem relacionada a sensibilidade a composição do efluente e na quantidade de lodo gerada no processo, impedindo reaproveitamento. Por conta disso, outros processos de tratamento são estudados (Tabela 01):

Tabela 01 – Processos alternativos de tratamento de efluentes têxteis

<b>Metodologia</b>	<b>Descrição</b>
Biodegradação	Faz uso de fungos para a degradação dos diversos compostos, além dos corantes, encontrados no efluente.
Tratamento com ozônio	Utiliza a forma triatômica do oxigênio para oxidar moléculas orgânicas e inorgânicas. O processo pode ser realizado tanto por oxidação direta quanto indireta.
Fotocatálise heterogênea	Consiste na degradação dos compostos orgânicos através de exposição à luz ultravioleta. Pouco estudado por sua difícil aplicabilidade.
Processos físico-químicos	Este grupo abriga alguns métodos como filtração por membranas e adsorção por carvão ativado – muito restrito devido ao elevado custo (LUCENA, 2018).
Processos Combinados	Combinação de diferentes processos para a maximização da eficiência na remoção dos compostos presentes no efluente.

Fonte: KUNZ *et al* (2002).

### 3 METODOLOGIA

Considerando o atual período pandêmico instaurado em todo o mundo, o Instituto Presbiteriano Mackenzie, seguindo as medidas sanitárias de segurança, não viabilizou a tempo as instalações laboratoriais para quaisquer usos em pesquisa e educação. Assim sendo, desenvolveu-se uma metodologia baseada em revisão de artigos, dissertações e teses que permitem aproximar os possíveis resultados do uso da peroxidase na remoção dos corantes de esgotos produzidos por indústrias têxteis. No entanto, reiteramos a necessidade de procedimentos empíricos que corroborem, e mais enriqueçam, os estudos aqui apresentados

A metodologia de revisão do estado da arte buscou conectar diversos trabalhos acadêmicos de forma a definir se a viabilidade técnica e econômica do uso da peroxidase extraída do fungo basidiomicetos na descoloração do corante de cor azul é existente, definindo como parâmetros: custo de extração, custo de produção, tempo de descoloração, taxa (em porcentagem) de eficiência. Estes parâmetros foram comparados ao sistema convencional hoje adotado por boa parte das indústrias têxteis e realizadas análises teóricas sobre a questão.

### 3.1 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DE ARTIGOS

Utilizou-se os seguintes descritores na obtenção do material literário que embasou a elaboração do presente trabalho: peroxidases, indústria têxtil, corantes reativos, descoloração, despoluição, basidiomicetos, enzimas e resíduos sólidos.

As publicações acadêmicas foram buscadas em algumas bases eletrônicas de dados específicas para a área de saneamento e produção industrial, tais como: periódicos CAPES da Universidade de São Paulo (USP), biblioteca Luis de Queiroz, Associação Brasileira da Indústria Têxtil e Confecção (ABIT), Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), biblioteca da Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho (UNESP). Ao terminar as seleções, os artigos foram separados de acordo com o assunto que abordava, de forma a atender com maior eficácia os objetivos específicos propostos.

### 3.2 LIMITE DE TEMPO

Foram selecionados projetos acadêmicos publicados a partir do ano 1990 até o presente ano de 2020 (inclusive aqueles disponíveis nas plataformas digitais, mas que somente serão publicados no próximo ano corrente).

### 3.3 IDIOMA

Foram selecionadas publicações nos idiomas em inglês e português.

### 3.4 PROCESSO DE ANÁLISE DAS PUBLICAÇÕES

A análise das publicações foi realizada em etapas pré-definidas, que seguiram os padrões abaixo:

- a) Primeira etapa – Divisão e objetivos: para buscar o maior número de publicações que embasassem a análise, buscou-se identificar, na metodologia descrita, o maior uso da enzima na despoluição de resíduos industriais, levantando qual extração era mais recorrente. Assim, chegou-se à ideia de trabalhar a enzima extraída da família basidiomicetos na remoção do corante azul do esgoto produzido por indústrias têxteis.
- b) Segunda etapa – Triangulação de informações: ao definir os novos objetivos gerais e específicos, foram feitas pesquisas em diferentes áreas, analisando os mais variados números de publicações e realização de seus fichamentos. As informações obtidas foram reunidas em um único local (Tabela 02), onde informou-se em quantos artigos foi possível verificar, por exemplo: resultado positivo de descoloração, quantas espécies diferentes de fungos foram usadas e quantos corantes tentaram ser removidos.
- c) Terceira etapa – Discussão das pesquisas: após todas as avaliações e levantamentos trazidos, houve a discussão dos possíveis resultados no uso da peroxidase para

descoloração específica do proposto pelo artigo, mas trazendo em mente que o resultado teórico deve ser aliado a ensaios laboratoriais para um resultado preciso.

#### 4 RESULTADOS

O processo de descoloração das águas residuais têxteis utilizando as enzimas Peroxidase, seguindo os levantamentos realizados, apresentam algumas vantagens frente aos tratamentos convencionais. Dentre elas, cita-se “a diminuição de compostos tóxicos durante o processo de descontaminação, uma vez que se trata de um processo natural, não necessitando de substâncias químicas.” (SOUZA; ROSADO, 2009).

Ainda, Dellamatrice (2005) e Nascimento (2008) mostram, em seus estudos, que o tratamento natural utilizando, sobretudo, fungos de podridão branca, tem potencial de apresentar alta capacidade detoxicadora dependendo da concentração e do tipo de corante. Em contrapartida, Silva (2014) conseguiu reduzir a toxicidade da vinhaça, mas aumentou os valores de toxicidade quando o teste foi realizado com *H. attenuata* em corante azul índigo, o que confirma que a degradação de corantes pode tornar o ambiente mais tóxico a cada metodologia adotada.

Tratando-se do processo de descoloração dos efluentes, os resultados mostram-se promissores. A presença de enzimas peroxidase como Lacases e MnP são muito eficientes no tratamento de remoção de corantes do montante de resíduos produzidos por indústrias têxteis. Os resultados de diversos ensaios estão compilados e apresentados abaixo (tabela 02):

Tabela 02 – Relações de fungos, corantes e taxas de descoloração

Fungo	Corante	Taxa de Descoloração	Observações
<i>P. Oleovorans</i>	Diversos	Até 95,32%	A taxa de descoloração varia de acordo com os níveis de temperatura e a concentração do corante.
<i>Phellinus gilvus</i>	Cl Vat Blue I	100%	Para obter este valor, levaram quatro dias.
<i>Pleurotus sajor-caju</i>	Cl Vat Blue I	94%	Para obter este valor, levaram quatro dias.
<i>Phamerochaete crysosporum</i>	Sp-g (diazó) Cm-s (diazó)	89% 88%	Para obter estes valores, levaram 28 dias.
<i>Phlebia fioridensis</i>	Brilhant green Cristal violeta	100% 95,2%	Para obter estes valores, levaram 28 dias.
<i>Phlebia fioridensis</i>	Vermelho cresol Vermelho congo Orange II Poly-R	81,4% 98% 100% 80%	Para obter estes valores, levaram 5 dias.

<i>Phlebia floridensis</i>	Poly-B RBBR	93%	Para obter estes valores, levaram 9 dias.
<i>Ganoderma spp</i>	Diversos	Até 99,97%	Os maiores valores de descoloração foram quando outras enzimas como lignina e MnP auxiliaram, mas houve grandes aumentos nos valores de DQO.

Fonte: Carvalho (2005); Oliveira (2010); Trombini e Obara Dói (2012)

## 5 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos pelos estudos levantados neste artigo realçam a imensa eficácia do uso da peroxidase extraída de fungos da família Basidiomicetos, com estudos realçando até a remoção completa dos corantes dos resíduos provenientes de indústrias têxteis (CARVALHO, 2005; NASCIMENTO, 2008). Contudo, esses resultados podem ser melhores ou piores, aumentando ou reduzindo a taxa de descoloração (SILVA, 2014).

Silva (2014) ainda afirma que a degradação de corantes pode tornar o ambiente mais tóxico. Porém, esta não é uma afirmação completa, pois muitos estudos apresentam valores despoluidores promissores, sem aumentar outras taxas poluidoras (DELLAMATRICE, 2005; OLIVEIRA, 2010; PEIXOTO; RODRIGUES, 2013). Assim sendo, levanta-se algumas possibilidades de motivos que levam a obtenção de resultados antagônicos:

- a) Cada fungo possui afinidade a determinado corante – Cada corante despejado possui suas próprias concentrações de compostos, portanto é possível que, para uma mesma metodologia, um corante possa ter uma taxa de remoção melhor com um determinado tipo de fungo. Para reforçar esta afirmação, Carvalho (2005), em um mesmo ensaio, utilizou o fungo *Phlebia floridensis* para remover dois corantes de um esgoto: Brillant green e Cristal violeta. Após 28 dias, enquanto o Cristal Violeta foi removido em 95,2% do efluente, o Brillant green foi totalmente removido.
- b) Os parâmetros de projeto influenciam nas taxas de descoloração – Todo processo de despoluição segue padrões rígidos e normatizados que aumentam a eficiência do serviço. Oliveira (2010), ao ensaiar com o fungo *P. Oleovorans* afirma que as condições ideais de trabalho com este fungo são através de altas temperaturas e maiores concentrações do composto químico. Para cada fungo e cada corante, precisa realizar experimentos que apresentem quais as condições ideais para trabalhar com a enzima.

Portanto, é necessário realizar estudos laboratoriais que reforce as afirmações feitas nesse artigo e onde entenda quais são as razões que levam um fungo ser mais ou menos eficiente na

descoloração, como reduzir os riscos de aumento dos índices de toxicidade que algumas metodologias apresentaram ao trabalhar com os fungos no processo de remoção dos corantes.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

As pesquisas brasileiras em torno da utilização de enzimas extraídas de fungos crescem a cada dia devido a eficiência comprovada destas na remoção de diversos compostos poluentes, dentre esses, diversos tipos de corantes. Peixoto e Rodrigues (2013) ainda acrescentam que as técnicas para descoloração atuais da água são caras e apresentam algumas desvantagens, tal como uma taxa menor de remoção menor que a solução enzimática.

Os fungos da família Basidiomicetos, em oposição, conferem uma remoção tão satisfatória com resultados que chegam a uma taxa total de descoloração de efluentes provenientes de indústrias têxteis, além de ser sustentável por se tratar de uma solução natural. Contudo, houve pesquisas que, apesar de reforçar a capacidade despoluidora, aumentaram a toxicidade da água, elevando os valores de DQO após o tratamento, o que pode ser um empecilho na utilização dos fungos.

Portanto, as técnicas ainda precisam de mais estudos que entendam o comportamento do fungo e do esgoto para confirmar algumas informações antes de incentivar o tratamento biológico natural. Essas confirmações mostram-se potenciais pesquisas a fim de preencher algumas lacunas atuais do conhecimento. Dentre essas, propor metodologias para entender como cada enzima reage a cada corante especificamente e responder a questão se cada fungo possui afinidade a determinado corante; ainda, entender quais são os parâmetros de ensaio para potencializar as taxas de descoloração são essenciais para firmar a utilização da solução em larga escala; sugere-se, ainda, fazer levantamentos de viabilidade econômica para fortalecer o uso dos fungos em fortalecimento das técnicas químicas convencionalmente utilizadas.

Por fim, todos os dados levantados neste artigo vieram de revisão bibliográfica, carecendo de suporte complementar empírico.



## REFERÊNCIAS

AITKEN, Michael D. Waste treatment applications of enzymes: opportunities and obstacles. **The Chemical Engineering Journal**, [S.L.], v. 52, n. 2, p. 49-58, ago. 1993. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0300-9467\(93\)80057-u](http://dx.doi.org/10.1016/0300-9467(93)80057-u).

ALCÂNTARA, Maria Regina; DALTIM, D. Química do processamento têxtil. **Química Nova**, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 320-330, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO (Brasil). **ABIT**. Disponível em: <https://www.abit.org.br/>. Acesso em: 25 set. 2020.

BELTRAME, Leocádia Terezinha Cordeiro. **Classificação de Efluente Têxtil e Proposta de Tratamento**. 2000. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2000.

CARVALHO, Caio Cesar de. **Produção de ligninases por basidiomicetos através de fermentação em estado sólido, caracterização e aplicação das enzimas**. 2005. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Biológicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro, 2005.

CETESB (São Paulo). **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo**. São Paulo: Cetesb - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo, 2019.

CHOY, Keith K.H. *et al.* Sorption of acid dyes from effluents using activated carbon. **Resources, Conservation And Recycling**, [S.L.], v. 27, n. 1-2, p. 57-71, jul. 1999. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0921-3449\(98\)00085-8](http://dx.doi.org/10.1016/s0921-3449(98)00085-8).

COOPER, Vincent A.; NICELL, Jim A. Removal of phenols from a foundry wastewater using horseradish peroxidase. **Water Research**, Montreal, v. 30, n. 4, p. 954-964, abr. 1996. Elsevier BV.

CORREIA, Venceslau M.; STEPHENSON, Tom; JUDD, Simon J. Characterisation of textile wastewaters - a review. **Environmental Technology**, Londres, v. 15, n. 10, p. 917-929, out. 1994.

DELLAMATRICE, Priscila Maria. **Biodegradação e toxicidade de corantes têxteis e efluentes de Estação de Tratamento de Águas Residuárias de Americana, SP**. 2005. 137 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ecologia de Agroecossistemas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005.

ELY, Cyntia; KEMPKA, Anieli P.; SKORONSKI, Everton. Peroxidases Application in the Wastewater Treatment. **Revista Virtual de Química**, [S.L.], v. 8, n. 5, p. 1537-1549, 2016. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20160108>. Disponível em: <http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v8n5a20.pdf>. Acesso em: 11 mai 2020.

FORGIARINI, Eliane. **Degradação de Corantes e Efluentes Têxteis Pela Enzima Horseradish Peroxidase (HRP)**. 2006. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal da Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

GIORDANO, Gandhi. **Tratamento e Controle de Efluentes Industriais**. 2005. 81 f. Curso de Engenharia Sanitária, Departamento de Engenharia Sanitária e Meio Ambiente, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

GUIMARÃES, Bárbara Maria Gama. **Estudo das características físico-químicas de fibras têxteis vegetais de espécies de Malvaceae**. 2014. 167 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências em Têxtil e Moda, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

HAMID, Mohsina; KHALIL-UR-REHMAN. Potential applications of peroxidases. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 115, n. 4, p. 1177-1186, ago. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.02.035>.

HUNGER, Klaus. **Industrial Dyes: chemistry, properties, applications**. Frankfurt: Wiley-Vch, 2003.

KURBUS, Tanja *et al.* The study of the effects of the variables on H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV decoloration of vinylsulphone dye: part ii. **Dyes And Pigments**, [S.L.], v. 54, n. 1, p. 67-78, jul. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0143-7208\(02\)00033-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0143-7208(02)00033-5).

LALNUNHLIMI, Sylvine; KRISHNASWAMY, Veenagayathri. Decolorization of azo dyes (Direct Blue 151 and Direct Red 31) by moderately alkaliphilic bacterial consortium. **Brazilian Journal Of Microbiology**, [S.L.], v. 47, n. 1, p. 39-46, jan. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjm.2015.11.013>.

NASCIMENTO, Carlos Roberto Sobrinho do. **Avaliação do Potencial de Descoloração e Detoxificação de Corantes Utilizados em Indústria Têxtil por Fungos Isolados de Sedimento do Parque Nacional da Serra da Capivara (PI)**. 2008. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Vigilância Sanitária, Fiocruz, Rio de Janeiro, 2008.

OLIVEIRA, Marcella Cardoso Lemos de. **Descoloração de Corante Industrial por Pseudomonas Oleovorans CBMAI 0703**. 2010. 60 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

PALMIERI, G.; CENNAMO, G.; SANNIA, G. Remazol Brilliant Blue R decolourisation by the fungus *Pleurotus ostreatus* and its oxidative enzymatic system. **Enzyme And Microbial Technology**, [S.L.], v. 36, n. 1, p. 17-24, jan. 2005. Elsevier BV.

PASSARDI, F. *et al.* Peroxidases have more functions than a Swiss army knife. **Plant Cell Reports**, [s.l.], v. 24, n. 5, p. 255-265, 22 abr. 2005. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00299-005-0972-6>.

RIBEIRO, Ana Paula Acerbi. **Efeito de fungos basidiomicetos na decoloração e fitotoxicidade de corante sintético e efluente têxtil**. 2013. 60 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Microbiologia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

SANDRA RURI FUGITA (São Paulo). Cetesb. **Fundamentos do Controle de Poluição das Águas**. São Paulo: Escola Superior da Cetesb, 2018.

SILVA, Gilda Mariano. **Expressão de enzimas de *Pleurotus spp.* e decoloração do corante azul índigo**. 2014. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

SOUZA, Aline Francisca; ROSADO, Fábio Rogério. Utilização de fungos basidiomicetos em biodegradação de efluentes têxteis. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, Maringá, v. 2, n. 1, p. 121-139, jan. 2009.

SOUZA, Gleison de. **Produção, extração e estabilidade de enzimas lignocelulolíticas para uso em degradação em compostos poluentes**. 2012. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Ciências, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

THE ECOLOGICAL AND TOXICOLOGICAL ASSOCIATION OF DYES AND ORGANIC PIGMENTS MANUFACTURERS (Suíça). **ETAD**. Disponível em: <https://etad.com/en>. Acesso em: 25 set. 2020.

TROMBINI, Rosana Betazza; DÓI, Suely Maiumi Obara. Remoção de cor e análises físico-química de efluentes de indústrias têxteis tratados com *Ganoderma spp*. **Revista Fapciência**, Apucarana, v. 9, n. 12, p. 101-122, jan. 2012.

ZANONI, Maria V. Boldrin; YAMANAKA, Hideko. **Corantes**: caracterização química, toxicológica, métodos de detecção e tratamento. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2016.

ZANOTTO, Sandra Patrícia. **Utilização de enzimas e microrganismos para a obtenção de compostos opticamente ativos**. 2003. 99 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Química, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

ZHANG, Wenxuan *et al.* Adsorption of anionic dyes from aqueous solutions using chemically modified straw. **Bioresource Technology**, [S.L.], v. 117, p. 40-47, ago. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2012.04.064>.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, à conclusão deste projeto.

Aos nossos pais e familiares que tanto nos apoiam e servem de exemplo de caráter e seguraram a nossa mão em todo período de graduação, fundamental para continuarmos em frente e alcançando nossos objetivos.

A Liliane Frosini Armelin e Afonso Luis Correa de Virgiliis, não apenas por orientações técnicas e em pesquisa, mas pela confiança, amizade e carinho constantemente recebidos.

Aos nossos amigos, fonte de alegria e amor, por sempre confiarem em nós e aplaudirem nossas conquistas.

Ao Mackenzie, por todo conhecimento fornecido e oportunidades ofertadas.