

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA - DAENQ
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA QUÍMICA**

CECILIA CLAUDETE RICACZESKI

**APLICAÇÃO DE CELULOSE BACTERIANA PRODUZIDA POR
Gluconacetobacter hansenii PARA REMOÇÃO DO CORANTE AMARELO
REATIVO B2R**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PONTA GROSSA
2017**

CECILIA CLAUDETE RICACZESKI

**APLICAÇÃO DE CELULOSE BACTERIANA PRODUZIDA POR
Gluconacetobacter hansenii PARA REMOÇÃO DO CORANTE AMARELO
REATIVO B2R**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química, da Coordenação de Engenharia Química, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Denise Milleo Almeida

PONTA GROSSA

2017



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Ponta Grossa



Coordenação de Engenharia Química

TERMO DE APROVAÇÃO

APLICAÇÃO DE CELULOSE BACTERIANA PRODUZIDA POR *Gluconacetobacter hansenii* PARA REMOÇÃO DO CORANTE AMARELO REATIVO B2R

por

Cecilia Claudete Ricazeski

Monografia apresentada no dia 02 de junho de 2017 ao Curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Cesar A. M. Chornobai
(UTFPR)

Profa. Dra. Safi Amaro Monteiro
(UTFPR)

Profa. Dra. Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli
(UTFPR)
Orientadora

Profa. Dra. Juliana De Paula Martins
Responsável pelo TCC do Curso de Engenharia Química

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Química”

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Aos meus pais que me incentivaram todos os anos em que estive na universidade.

Às orientadoras Prof.^a. Doutora Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli e Prof.^a. Doutora Denise Milleo, pela oportunidade que me concederam, pelo suporte e incentivo, por sempre suprir minhas dúvidas prontamente. À Prof.^a. Doutora Safi Amaro Monteiro por sanar minhas dúvidas e ajudar na manutenção da cepa.

A minha irmã Leocadia Ricaczeski e amigos, pelo apoio durante a realização do curso. Ao meu namorado Eduardo El Akkari Sallum, por sempre me apoiar.

Por fim, agradeço a todos os professores pela formação e capacitação profissional.

RESUMO

RICACZESKI, Cecilia Claudete. **Aplicação de Celulose Bacteriana produzida por *Gluconacetobacter hansenii* para remoção do corante amarelo reativo B2R.** 2017. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Química - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, Brasil 2017.

A indústria têxtil tem crescido consideravelmente nas últimas décadas e, conseqüentemente, a utilização de corantes têxteis. O corante mais utilizado pela indústria têxtil é classificado como corante reativo, no entanto ao ser lançado no efluente, sem o devido tratamento, pode causar vários problemas no leito receptor. O efluente têxtil para ser lançado deve passar por devido tratamento no corpo hídrico do efluente, quer seja químico, físico ou biológico. O processo de adsorção tem sido apontado como um dos mais adequados para a remoção de corante. O adsorvente mais utilizado é o carvão ativado. No entanto, sua aplicação pode apresentar custo elevado. Em contrapartida, uma técnica que pode ser economicamente viável é a biossorção, a qual utiliza biomassa (biossorvente) para a remoção de poluentes. Vários tipos de biossorbentes têm sido estudados como forma de substituição do carvão ativado, como o bagaço da cana-de-açúcar, casca de coco, casca de arroz, entre outros. Estes biossorbentes têm em comum, especialmente, as fibras celulósicas. Dentro deste contexto, o presente trabalho utiliza celulose de origem bacteriana, produzida pela *Gluconacetobacter hansenii*, que possui maior pureza sobre a extraída dos vegetais para testar sua utilização como biossorvente. Vários testes foram realizados, inicialmente pelos testes preliminares, em seguida foram os testes de influência do pH na biossorção, efeito da espessura da Celulose Bacteriana na biossorção, teste cinético e, por fim, teste de reutilização da Celulose Bacteriana. Com os resultados encontrados neste trabalho, pode-se afirmar que a Celulose Bacteriana é viável para a remoção do Corante Reativo B2R, bem como de uma mistura de corantes de um efluente industrial, sendo possível a sua reutilização.

Palavras-chave: Celulose Bacteriana. Biossorção. Efluente têxtil. Amarelo Reativo B2R.

ABSTRACT

RICACZESKI, Cecilia Claudete. **Application of Bacterial Cellulose produced by *Gluconacetobacter hansenii* for removal of Reactive Yellow Dye B2R.** 2017. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Química - Federal Technology University of Paraná. Ponta Grossa, Brazil 2017.

Textile industry has presented a notable growth in the past decades, as well as the use of textile dyes. The most used dye in this industry is classified as a reactive dye. However, when not treated and discharged in the effluent, it is capable of causing serious damage in the riverbed. Adequate textile effluent to be discharged in the hydrous body may pass through a chemical, physical or biological treatment. The adsorption process has been appointed as one of the best methods for the dye removal. Although having a high cost, activated charcoal is the most used adsorbent. In the other hand, a technique that can be economically viable is biosorption. In general, it makes use of biomass (biosorbent) for pollutants removal. Many types of biosorbents have been studied as a substitution to activated charcoal, such as the bagasse from sugar cane, coconut shell and rice shell. These biosorbents demonstrate to have in common the cellulosic fibers. Based on this line of research, this papers intents to test the use of cellulose from bacterial origin (*Gluconacetobacter hansenji*) as a biosorbent. This type of cellulose was chosen due to its higher pureness when compared to cellulose from plant origin. Many tests were ran, beginning with preliminary tests, followed by the influence of pH and bacterial cellulose thickness in the biosorption, kinetic test and finally the reuse of bacterial cellulose. The results obtained demonstrate the viability of bacterial cellulose for the removal of reactive dye B2R and a mixture of dyes from industrial effluent. In addition, the reuse of bacterial cellulose is also possible.

Keywords: Bacterial cellulose. Biosorption. Textile Effluent. Reactive Yellow B2R.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Organograma dos métodos de tratamento de efluentes industriais	20
Figura 2 -	Celulose Bacteriana em processo fermentativo (a) e Celulose Bacteriana úmida (b).....	29
Figura 3 -	Estrutura molecular da Celulose Bacteriana (a), desenho esquemático da microestrutura da Celulose Bacteriana (b) (1 - cadeia linear, 2 - microfibrila de Celulose Bacteriana, 3 - microfibrilas compactadas).....	30
Figura 4 -	Microscopia eletrônica da Celulose Bacteriana (X20,000/2µm).....	31
Figura 5-	Crescimento da Celulose Bacteriana em estufa.....	37
Figura 6 -	Formação do filme 24 horas após a inoculação (a), filme 96 horas após a inoculação (b) e 162 horas após inoculação (c).....	37
Figura 7-	Crescimento do segundo filme de Celulose	38
Figura 8-	Filme de Celulose Bacteriana após destruição do micro-organismo e lavagem (a) e filme de Celulose Bacteriana após 24 horas em uma solução de hipoclorito de sódio 30% (b).....	39
Figura 9-	Celulose Bacteriana seca.....	40
Figura 10-	Soluções do Corante Amarelo Reativo B2R sem ajuste (a) de pH e com ajuste de pH (b).....	41
Figura 11-	Efluente industrial no processo de floculação (a) e o lodo gerado no tratamento do efluente (b).....	46
Figura 12-	Efluente industrial sem nenhum tratamento (a) e o efluente industrial após remoção da cor utilizando Celulose Bacteriana (b).....	47
Figura 13-	Celulose Bacteriana antes (a) e após a descoloração com hipoclorito de 12% (b).....	52
Fluxograma 1-	Sequência de atividades realizadas.....	32
Gráfico 1-	Curva de calibração para o Corante Amarelo Reativo B2R.....	42
Gráfico 2-	Influência do pH na remoção do Corante Reativo Amarelo B2R.....	44

Gráfico 3-	Influência da espessura da Celulose Bacteriana seca na remoção do corante.....	45
Gráfico 4-	Porcentagem de remoção do corante em cada tempo.....	48
Gráfico 5-	Modelo cinético de pseudo-primeira ordem ajustados aos dados experimentais.....	49
Gráfico 6-	Modelo cinético de pseudo-segunda ordem ajustados aos dados experimentais.....	50
Gráfico 7-	Modelo cinético de Elovich ajustados aos dados experimentais.....	50
Quadro 1-	Caracterização de diferentes classes de corantes têxteis.....	18
Quadro 2-	Propriedades do corante Amarelo Reativo B2R.....	19
Quadro 3-	Vantagens e desvantagens de novos métodos de tratamento de efluente.....	22
Quadro 4-	Aplicações de Celulose Bacteriana.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados do teste de influência de pH na banda de Adsorção.....	40
Tabela 2 - Parâmetros utilizados no teste de influência do pH.....	43
Tabela 3 - Remoção da cor de efluente industrial.....	46
Tabela 4 - Coeficientes de correlação dos modelos cinéticos.....	51
Tabela 5 - Porcentagem de remoção da Celulose Bacteriana reutilizada	53

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

LISTA DE ABREVIATURAS

DBO	Demanda biológica de oxigênio
DQO	Demanda química de oxigênio
STD	Sólidos totais dissolvidos
PPM	Partes por milhão
pH	Potencial Hidrogeniônico
UV-Vis	Espectroscopia com absorção
NaOH	Hidróxido de Sódio
HCl	Ácido Clorídrico
RPM	Rotações por minuto

LISTA DE SIGLAS

B	Constante de equilíbrio de adsorção de Langmuir ($L\text{ mg}^{-1}$)
C_0	Concentração inicial (mg L^{-1})
C_e	Concentração da fase líquida no equilíbrio (mg L^{-1})
k_F	Coefficiente de adsorção de Freundlich (mg g^{-1})
k_1	Constante de velocidade de adsorção de pseudo-primeira ordem (min^{-1})
k_2	Constante de velocidade de pseudo-segunda ordem ($\text{g mg}^{-1}.\text{min}^{-1}$)
M	Massa do adsorvente (g)
1/n	Parâmetro de ajuste (adimensional)
q_{max}	Capacidade máxima de adsorção da monocamada (mg g^{-1})
q_e	Quantidade de corante adsorvida no equilíbrio (mg g^{-1})
q_t	Quantidade de corante adsorvido no tempo t (mg g^{-1})
T	Tempo de adsorção (min.)
V	Volume da solução (L)

LISTA DE ACRÔNIMOS

CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVO GERAL	15
1.2 Objetivos específicos	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 CORANTES TÊXTEIS	17
2.1.1 Classificação dos corantes têxteis	17
2.3 EFLUENTES TÊXTEIS	19
2.3.1 Tratamento biológico	20
2.3.2 Tratamento químico	21
2.3.3 Tratamento físico	22
2.4 BIOSSORÇÃO	24
2.5 CINÉTICA DE ADSORÇÃO	25
2.5.1 Modelo de pseudo-primeira ordem	26
2.5.2 Modelo de pseudo-segunda ordem	27
2.6 CELULOSE BACTERIANA	28
3 MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1 PRODUÇÃO DE CELULOSE BACTERIANA.....	32
3.2 PROCESSAMENTO DE CELULOSE BACTERIANA	33
3.3 TESTES PRELIMINARES	33
3.3.1 Preparo do Corante	33
3.3.2 Influência do pH sobre a banda de absorção do corante.....	33
3.3.3 Curva de calibração	34
3.4 INFLUÊNCIA DO pH NA BIOSSORÇÃO PELA CELULOSE BACTERIANA	34
3.5 TESTE DA INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DA CELULOSE BACTERIANA NA BIOSSORÇÃO	35
3.6 TESTE DE BIOSSORÇÃO COM EFLUENTE INDUSTRIAL	35
3.7 TESTE CINÉTICO	36
3.8 REUTILIZAÇÃO DA CELULOSE	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
4.1 PRODUÇÃO DE CELULOSE BACTERIANA.....	37
4.2 PROCESSAMENTO DA CELULOSE	39

4.3 INFLUÊNCIA DO pH SOBRE A BANDA DE ABSORÇÃO DO CORANTE.....	40
4.4 CURVA DE CALIBRAÇÃO	41
4.5 TESTE DA INFLUÊNCIA DO pH NA BIOSSORÇÃO	42
4.6 TESTE DA INFLUÊNCIA DA ESPESSURA NA BIOSSORÇÃO	44
4.6 TESTE DE REMOÇÃO DA COR DE UM EFLUENTE INDUSTRIAL.....	45
4.7 TESTE CINÉTICO	47
4.7.1 Aplicação dos modelos cinéticos	49
4.8 TESTE DE DESSORÇÃO E REUTILIZAÇÃO	51
5 CONCLUSÃO	53
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

1 INTRODUÇÃO

A indústria têxtil tem crescido consideravelmente nas últimas décadas e, por consequência, houve um aumento na utilização de corantes têxteis.

O corante mais utilizado mundialmente se classifica como corante reativo, no entanto nem todo corante se fixa na fibra têxtil sendo que uma grande quantidade é removida no processo de lavagem, fazendo parte do efluente têxtil. O corante reativo ao ser lançado no efluente, sem o devido tratamento, pode causar vários problemas como a poluição visual (pequena quantidade de corante já é visível a olho nu, caracterizado como efluentes com forte coloração) e alterações em ciclos biológicos (processos de fotossíntese, em que há o bloqueio da luz, além de ser tóxico à vida aquática). Eles apresentam ainda elevada estabilidade, baixa degradabilidade, alta demanda química de oxigênio (DQO), sólidos totais dissolvidos (STD) e demanda biológica de oxigênio (DBO).

O efluente têxtil adequado, ao ser lançado no corpo hídrico, deve passar por um tratamento de efluente quer seja químico, físico ou biológico. Dentro de suas características, cada tratamento atende a necessidades específicas, como por exemplo a utilização do lodo ativado, com elevada capacidade de redução da DBO em curto espaço de tempo. No entanto, esse processo biológico se mostra susceptível a alterações na composição do efluente, não sendo capaz de degradar corantes reativos.

O processo de adsorção tem sido apontado como um dos mais adequados para a remoção de corante. A adsorção consiste em um fenômeno de concentração de uma substância na superfície, podendo ser sólida ou líquida. Uma técnica que pode ser economicamente viável é a biossorção. Esta consiste de vários mecanismos que estarão sujeitos ao tipo de biossorvente, natureza química do poluente e condições ambientais (pH, temperatura e força iônica). Os principais mecanismos para a biossorção incluem os processos físico-químicos como a troca iônica, quelação, complexação, adsorção e micro-precipitação.

Vários tipos de biossorbentes são estudados como forma de substituição do carvão ativado, entre eles o bagaço da cana-de-açúcar, a casca de coco, a casca de arroz, dentre outros. Estes materiais possuem em comum fibras celulósicas, visto que os corantes reativos possuem boa fixação a essas fibras naturais durante o

processo de tingimento do tecido. Desta forma, o mesmo princípio se aplica com os bioissorventes celulósicos para a remoção do corante.

No entanto, as plantas não são a única forma de se obter a celulose, ela pode ser produzida por processo fermentativo de algumas bactérias como a *Acetobacter xylinum* (atualmente denominada *Gluconacetobacter hansenii*), *Agrobacterium tumefaciens*, *Rhizobium spp.*, *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli* e *Pseudomonas fluorescens*.

A celulose de origem bacteriana produzida pela *Gluconacetobacter hansenii* traz como vantagens, sob a celulose extraída dos vegetais, ser desprovida de lignina e hemicelulose, possui elevada capacidade de retenção de água devido ao diâmetro menor das microfibrilas, bem como apresenta maior área superficial com retenção de até 100 vezes de seu peso. Apresenta ainda características como alta porosidade (90%), considerável elasticidade (resistência ao rasgo), é produzida sob várias formas; alto grau de cristalinidade, força mecânica, pureza química, inerte metabolicamente e não provoca reações alérgicas ao contato. Em geral, a Celulose Bacteriana se mostra estável em soluções básicas, mas suscetível a hidrólise alcalina em condições drásticas ($\text{NaOH } 1\text{ mol L}^{-1}$, 170°C).

O biopolímero produzido por este micro-organismo possui características e propriedades como pureza química, processo de produção de baixo custo (Apêndice C), capacidade de retenção de água, elevada porosidade, atóxico, biodegradável, entre outros.

Portanto, o intuito deste trabalho foi utilizar as características e propriedades da Celulose Bacteriana, com baixo custo de obtenção, para avaliar a capacidade dela na remoção do corante amarelo reativo.

1.1 OBJETIVO GERAL

Produzir e avaliar a capacidade da Celulose Bacteriana como bioissorvente para a remoção do corante Amarelo Reativo B2R em solução aquosa.

1.2 Objetivos específicos

- Produzir a Celulose Bacteriana por *Gluconacetobacter hansenii*;

- Verificar a influência do pH no processo de biossorção pela Celulose Bacteriana;
- Estabelecer o tempo de contato da Celulose Bacteriana com o corante para que o sistema chegue ao equilíbrio no processo de absorção;
- Avaliar a capacidade da Celulose Bacteriana em remover corante de um efluente industrial;
- Analisar a reutilização da Celulose Bacteriana.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CORANTES TÊXTEIS

A utilização de corantes têxteis para tingimento de tecidos vem desde tempos remotos, como a extração do pau-brasil, fato adjunto à descoberta do Brasil.

Até meados do século XIX, os corantes eram derivados de folhas, flores, frutos, ramos ou raízes de plantas e de substâncias oriundas de animais. O primeiro corante sintético foi descoberto em 1856, na Inglaterra. Já no Brasil, a produção de corantes sintéticos teve início logo após a Primeira Guerra Mundial (GUARATINI e ZANONI, 2000).

Os corantes têxteis são compostos orgânicos que tem por finalidade conferir cor às fibras. As moléculas dos corantes têxteis possuem um grupo cromóforo, responsável por conferir a coloração às fibras, é uma estrutura responsável pela fixação do corante à fibra (auxocromos). Os grupos cromóforos absorvem a luz visível de forma seletiva, razão pela qual os corantes aparecem coloridos (KIMURA et. al., 1999; KUNZ et.al., 2002). A fixação do corante à fibra têxtil ocorre através de reações químicas.

As principais características dos corantes são a durabilidade ou propriedade de permanência sem alterar a cor, que se denominam resistência ou solidez à luz (KIMURA et.al., 1999).

Cada tipo de fibra necessita de um corante com características específicas, pois cada tipo de corante adere melhor em determinado tipo de fibra, como por exemplo, o corante reativo que possui boa fixação em algodão.

2.1.1 Classificação dos corantes têxteis

A classificação dos corantes têxteis pode ser realizada de acordo com sua estrutura química (antraquinona, azo, entre outros), ou pelo modo de fixação do corante à fibra têxtil (GUARATINI e ZANONI, 2000).

Quanto a sua forma de fixação, os corantes podem ser classificados em reativos, diretos, azóicos, ácidos, à cuba, de enxofre, dispersivos, pré-metalizados e branqueadores. O tipo reativo é o mais utilizado mundialmente. A forma com que as moléculas do corante são fixadas à fibra pode envolver basicamente quatro tipos de

interações químicas, como ligações iônicas, de hidrogênio, *Van der Waals* e covalentes (GUARATINI e ZANONI, 2000).

O Quadro 1 mostra os vários tipos de corantes e sua classificação quanto ao modo de fixação, bem como as respectivas características, interações entre corante/fibra e os tipos de fibras em que são aplicados.

Quadro 1 - Caracterização de diferentes classes de corantes têxteis

Classe	Características	Substrato (fibra)	Interações Corante/fibra
Ácido	Aniônico, solúvel em água.	Nylon, lã, seda.	Eletróstica, ligação de hidrogênio.
Básico	Catiônico, solúvel em água.	Nylon modificado, poliéster.	Atração eletrostática.
Direto	Aniônico, solúvel em água.	Algodão (celulose), rayon, couro, nylon.	Forças intermoleculares.
Disperso	Solubilidade muita baixa em Água.	Poliéster, poliamida, acetato, acrílico, plástico.	Mecanismo de estado hidrofóbico-sólido.
Reativo	Aniônico, solúvel em água.	Algodão (celulose), nylon, seda, lã.	Ligação covalente.
À cuba	Coloidal, insolúvel.	Algodão (celulose), rayon.	Impregnação e oxidação.

Fonte: Adaptado de Honório (2013, p.11).

O corante reativo possui ligação covalente devido a presença de um grupo eletrofílico (reativo) com grupos hidroxila das fibras celulósicas, amino e tióis das fibras proteicas e também com os grupos amino das poliamidas (CATANHO et.al., 2006). Existem diversos tipos de corantes reativos, os principais possuem a função azo e antraquinona como grupos cromóforos e as clorotriazinila e sulfatoestilsulfonila como grupos reativos (OLIVEIRA, 2013). Os corantes reativos podem ser empregados no tingimento de fibras celulósicas (KUNZ et.al., 2002), sendo que o grau de fixação dos corantes reativos nas fibras está entre 60% a 90% (HONORIO, 2013). No entanto, o brilho dos tons é uma excelente propriedade dos corantes reativos, ele tem sido responsável por seu sucesso e uso.

O corante analisado neste presente trabalho é o Amarelo Reativo B2R. A composição e as propriedades deste corante, também denominado como corante Amarelo Reafix B2R, estão apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Propriedades do corante Amarelo Reativo B2R

Composição e informações sobre ingredientes de perigo	
Natureza química	Corante azo
Nome Químico ou Genérico	Sódio 7-[[2-[(aminocarbonil) amino]-4-[[4-[[5-amino-4-sulfo-2-[[4- sulfox)etil]sulfonil]fenil] azo]fenil]amino]-6-Cloro-1,3,5-triazin-2-il]amino]fenil]azo]-1,3,6-Naftalenotrisulfonato
Propriedades físico-químicas	
Estado físico	Sólido.
Forma	Granulado
Cor	Castanho avermelhado
Odor	Inodoro
pH	6,8 (20 g L ⁻¹)
Densidade (prática)	694 kg m ⁻³
Solubilidade (em água)	100 g L ⁻¹ a 30 °C.

Fonte: Adaptado da ficha técnica, AGS (2015, p.1).

Ainda de acordo com o fabricante do AGS (2015, p. 1), o corante Amarelo Reativo B2R é “nocivo para organismos aquáticos, pode causar efeitos adversos a longo prazo no ambiente aquático”. Sendo este o corante reativo mais utilizado mundialmente e com baixo grau de fixação à fibra, a remoção na lavagem fica em torno de 10% a 40%, eliminado como efluentes têxteis. A remoção dele é necessária para evitar impactos ambientais.

2.3 EFLUENTES TÊXTEIS

Após o tingimento, as fibras têxteis passam pelo processo de lavagem e a água remanescente é denominada efluente têxtil. Os efluentes têxteis apresentam forte coloração, alta estabilidade, baixa degradabilidade, elevada demanda química de oxigênio (DQO), sólidos totais dissolvidos (STD) e demanda biológica de oxigênio (DBO). Eles possuem ainda agentes dispersantes, transportadores, sais, emulsionantes e metais pesados (GEADA, 2006; HONORIO, 2013).

Os corantes têxteis são altamente detectáveis a olho nu, mesmo em concentração baixas, cerca de 1ppm (1 mg L⁻¹), essa percepção causa impactos negativos sobre os corpos hídricos (KIMURA et.al., 1999; HONORIO, 2013).

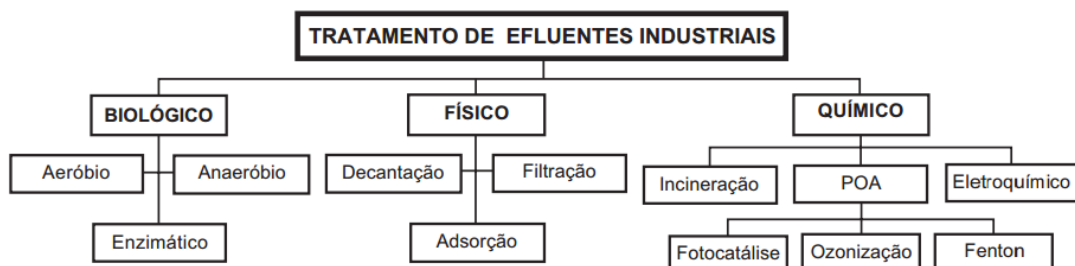
Os corantes azo apresentam propriedades carcinogênicas e mutagênicas, além dos corantes têxteis causarem poluição visual e alterações em ciclos biológicos

(processo de fotossíntese), os quais alertam sérios problemas ambientais se o efluente for lançado no corpo hídrico sem o devido tratamento. (KUNZ et.al., 2002).

Devido os possíveis impactos ambientais, os efluentes têxteis devem ser tratados antes de serem lançados no corpo hídrico, respeitando a Resolução do CONAMA nº 430/11, que complementa e altera a Resolução nº 357/05 e regulamenta parâmetros e padrões para o lançamento de efluente em ambientes hídricos (BRASIL, 2015).

Existem diferentes métodos para a remoção de poluentes dos efluentes têxteis, estes métodos podem ser divididos basicamente em três categorias: a biológica, química e física (Figura 1) (FREIRE et. al., 2000).

Figura 1 - Organograma dos métodos de tratamento de efluentes industriais



Fonte: Freire et. al. (2000, p. 505).

Na maioria das vezes, mais de um processo é utilizado para tratamento de efluente têxtil que pode ser físico-químico (adsorção, coagulação e/ou precipitação), seguido de tratamento biológico com lodo ativado (FREIRE et.al., 2000). Entretanto, a escolha do método a ser empregado na remoção depende de fatores como o tipo de corante, composição, concentração e a vazão do efluente.

2.3.1 Tratamento biológico

Nos tratamentos biológicos, os sistemas de lodo ativado são os mais utilizados. O processo consiste na agitação do efluente que contém microrganismos aeróbios, os quais são responsáveis por metabolizar, flocular e converter a matéria orgânica biodegradável em biomassa, dióxido de carbono, água e outros produtos de oxidação (KUNZ et.al., 2002).

A principal vantagem da utilização do lodo ativado está na elevada capacidade de diminuição da DBO em curto espaço de tempo. No entanto, o processo se torna susceptível a alterações na composição do efluente, não sendo capaz de degradar corantes reativos, principalmente os azo devido a sua alta estabilidade química (OLIVEIRA, 2013).

Este sistema ainda produz um grande volume de lodo que, além de possuir corantes, tem a presença de metais potencialmente tóxicos e sulfetos, tornando inviável a sua utilização na agricultura (KAMMRADT, 2004).

2.3.2 Tratamento químico

O tratamento químico utiliza produtos químicos para tratamento de efluentes industriais, dentre os métodos mais comuns estão a floculação, precipitação química, oxidação química, cloração e correção do pH. O processo de coagulação-floculação mostra ser o mais utilizado para remoção da matéria orgânica (OLIVEIRA, 2013).

Para a remoção da cor, geralmente, há a aplicação de processos de oxidação química devido a sua simplicidade de aplicação (GUARATINI e ZANONI, 2000). O peróxido de hidrogênio como agente oxidante é o mais utilizado (HONORIO, 2013).

Estudos vêm sendo desenvolvidos com o intuito de buscar uma remoção mais eficiente da cor dos efluentes têxteis. O Quadro 3 mostra alguns dos novos processos de tratamento para a remoção da cor, comparando suas vantagens e desvantagens.

Quadro 3 - Vantagens e desvantagens de novos métodos de tratamento de efluente

Tratamentos físicos e químicos	Vantagens	Desvantagens
Reagente fenton	Remoção efetiva de cor.	Formação de lodos.
Ozonização	Aplicado em fase gasosa: sem alteração de volume.	Tempo de meia-vida curto (20 min.).
Eletrocoagulação	Economicamente viável.	Considerável formação de lodos.
Troca iônica	Regeneração do adsorvente.	Ineficaz para alguns corantes.
Fotoquímico	Não há produção de lodo.	Formação de subprodutos.

Fonte: Adaptado Kammart (2004) (apud Robinson et al., 2001, p.16).

Os corantes modernos são altamente resistentes a condições moderadas de oxidação, sendo necessária a utilização de agentes oxidantes mais eficientes para a remoção da cor, por exemplo, o processo de decomposição oxidativa usando processo Fenton ou a oxidação utilizando ozônio (ROYER, 2008).

O reagente Fenton (solução formada por H_2O_2 e sais de ferro II como catalisador) é aplicado como uma alternativa de tratamento químico quando os componentes do efluente forem resistentes aos tratamentos biológicos ou tóxicos à biomassa viva. Mostra-se eficiente na remoção de corantes solúveis e insolúveis e sua ação está na sorção ou ligação com estes corantes. No entanto, gera lodo pela floculação do reagente, esta lama produzida necessita de disposições apropriadas, pois possui impurezas concentradas (KAMMART, 2004).

A oxidação utilizando ozônio (ozonização) consiste na clivagem das moléculas do corante. Os compostos cromóforos possuem geralmente ligações duplas conjugadas que podem ser quebradas formando moléculas menores, resultando na descoloração do efluente (HONORIO, 2013). Porém, o ozônio em água possui um tempo de meia-vida muito curto, tipicamente 20 minutos, o que caracteriza uma desvantagem do processo (KAMMART, 2004).

2.3.3 Tratamento físico

De acordo com Freire et.al. (2000), os tratamentos físicos são efetuados por processos de separação de fases (sedimentação, decantação, centrifugação,

filtração e flotação); transição de fases (destilação, evaporação e cristalização); transferência de fases (adsorção, “air-stripping” e extração por solventes) e separação molecular (hiperfiltração, ultrafiltração, osmose reversa e diálise). Nos processos físicos, os contaminantes não são degradados ou eliminados, são apenas transferidos de fase (FREIRE et.al., 2000).

Os principais métodos utilizados para a remoção da cor de efluentes são os métodos de filtração, nos quais se utilizam membranas especiais (nanofiltração e osmose reversa), troca iônica e adsorção (RODRIGUES FILHO, 2012).

Os poros possuem dimensões moleculares no processo de filtração com membrana. Estas membranas são divididas em quatro classes como: microfiltrantes, nanofiltrantes, ultrafiltrantes e osmose reversa. Para remoção do corante reativo, a membrana nanofiltrante (poros possuem dimensões de 1 nm) separa as substâncias orgânicas, sais dissolvidos e íons monovalentes (RODRIGUES FILHO, 2012). Guaratini e Zanoni (2000) ressaltam que as membranas especiais propiciam boa remoção de cor e são capazes de efetuar o tratamento de grande volume de efluente, de modo rápido e satisfatório. No entanto, possuem alto custo e dificuldades na limpeza das membranas.

O método de tratamento de efluentes por adsorção consiste na separação de componentes através da difusão presentes em uma mistura sólido-fluido. O composto diluído na fase fluida (adsorvato) se desloca por difusão até a interface fluido-sólido, devido a diferença de concentração entre a solução e a superfície de um sólido (adsorvente) (HONORIO, 2013).

Diversos fatores influenciam a adsorção como a natureza do adsorvente (área superficial específica, porosidade, tamanho e distribuição dos poros), natureza do adsorvato (quanto menor for a sua solubilidade no solvente maior será a sua adsorção), temperatura, concentração, tempo de contato e pH (GEADA, 2006).

Existem vários materiais utilizados como adsorventes, por exemplo, a sílica gel, bauxita, resinas de troca iônica e derivados de celulose. O carvão ativado é o mais utilizado pela indústria têxtil (GUARATINI e ZANONI, 2000), pois é mais efetivo na adsorção de corantes. Entretanto, apresenta algumas desvantagens como alto custo devido à dificuldade de dessorção (processo inverso à adsorção) (MATOS et.al. 2013).

2.4 BIOSSORÇÃO

A biossorção consiste na ligação de um componente presente em fase líquida denominado adsorvato a uma fase sólida (biossorvente) de origem natural – biomassa (PIETROBELLI, 2012).

O processo de biossorção depende do mecanismo de ligação, estando sujeito ao tipo de biossorvente, natureza química do poluente e condições ambientais como o pH, o qual pode afetar a estrutura química das moléculas do corante e a superfície do sólido (biossorvente). Os principais mecanismos para a biossorção incluem os processos físico-químicos, como a troca-iônica, quelação, complexação, adsorção e micro-precipitação (BRUNO, 2008; SUZAKI, 2013).

A biossorção não envolve energia metabólica ou transporte, embora quando empregada biomassa viva, esses processos podem ocorrer simultaneamente, visto que o processo de biossorção pode ocorrer com biomassa viva ou morta (PIETROBELLI, 2012). A biomassa morta é mais atrativa para a aplicação no tratamento de efluentes têxteis, pois a natureza tóxica de alguns poluentes não tem nenhum efeito no processo de sorção, não demandam nutrientes e manutenção de crescimento da biomassa (SILVA, 2008).

Estudos têm sido realizados com o objetivo de encontrar novos materiais biossorventes que possam ser mais econômicos e eficazes para a remoção da cor de efluentes têxteis. Entre esses estão os resíduos agrícolas (bagaço de cana-de-açúcar, bagaço de malte, espiga de milho, casca de arroz, casca de coco), material de origem biológica (bactérias, microalgas e fungos), vegetais macroscópicos (algas, gramíneas, plantas aquáticas), argilas (bentonita e caulinita), entre outros como a quitina, quitosana e algodão (GEADA, 2006; SILVA FILHO et.al., 2013; ZANUTTO et. al. 2015).

Os biossorventes de origem vegetal (casca, bagaço e sementes de vegetais) são constituídos basicamente por lignocelulose, composto por celulose, lignina e hemicelulose. Corantes reativos possuem boa fixação às fibras naturais celulósicas durante o processo de tingimento do tecido. Este princípio se aplica quando se deseja empregar materiais celulósicos para a remoção do corante (SILVA FILHO et.al., 2013).

De modo geral, um bom biossorvente atende a requisitos como baixo custo, eficiência na remoção de uma vasta gama de corantes, elevada capacidade de

adsorção, alta seletividade para diferentes concentrações de corantes e a tolerância a uma vasta gama de parâmetros de águas residuais (pH, concentração, tamanho da partícula) (GEADA, 2006).

Os processos de adsorção são analisados no comportamento cinético e de isotermas de adsorção, representando a relação de equilíbrio entre a concentração de adsorvato na fase fluída e nas partículas do adsorvente.

2.5 CINÉTICA DE ADSORÇÃO

A cinética de adsorção e o tempo de equilíbrio são fatores importantes para avaliar um processo de adsorção.

A cinética de adsorção descreve a velocidade com que as moléculas do adsorvato são adsorvidas pelo adsorvente, ou seja, obtida através da relação entre a quantidade do adsorvato removido pelo adsorvente em função do tempo (SUZAKI, 2013). O tempo de equilíbrio determina o tempo que o adsorvente leva para completar a adsorção. Isso não significa que o corante foi adsorvido totalmente, apenas que o adsorvente chegou ao seu máximo de adsorção para determinada condição (HONORIO, 2013).

A velocidade de adsorção pode ser afetada por características físico-químicas do adsorvato (natureza, solubilidade, peso molecular), do adsorvente (distribuição e tamanho dos poros, natureza), da solução (pH, concentração, temperatura) e agitação (CARDOSO, 2012).

Vários modelos cinéticos foram desenvolvidos para descrever a adsorção de um adsorvato sobre um adsorvente. Os modelos mais estudados são os modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem, sendo amplamente utilizados para o estudo cinético da biossorção de poluentes em águas residuais (HONORIO, 2013).

Os estudos da cinética de adsorção são importantes para o tratamento de efluentes têxteis, pois permitem verificar a influência do tempo de contato sobre a quantidade de contaminante adsorvido pelo adsorvente (HONORIO, 2013).

Para os modelos propostos, a quantidade de corante adsorvido no tempo t pode ser calculado através da Equação 1.

$$q_t = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (1)$$

Onde:

q_t = Quantidade adsorvida em um instante qualquer (mg g^{-1});

C_0 = Concentração inicial do corante na solução (mg L^{-1})

C_e = Concentração do corante no equilíbrio em um tempo qualquer (mg L^{-1});

V = Volume da solução (L);

m = Massa do adsorvente (g);

2.5.1 Modelo de pseudo-primeira ordem

A velocidade de adsorção pode ser determinada pela equação de pseudo-primeira ordem de Lagergren (Equação 2). Esta foi a primeira equação utilizada para adsorção em sistemas líquido-sólido baseado na capacidade do sólido (SÀ, 2013).

Para Carvalho et.al. (2010, p.360), a equação desenvolvida por Lagergren parte do pressuposto de que “a velocidade de remoção do adsorvato como tempo de contato é diretamente proporcional à diferença na concentração de saturação e ao número de sítios ativos do sólido”.

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (2)$$

Onde:

q_t = Quantidade de corante adsorvido no tempo t em (mg g^{-1});

q_e = Quantidade de corante adsorvida no equilíbrio em (mg g^{-1});

k_1 = Constante de velocidade de adsorção de pseudo-primeira ordem (min^{-1});

t = tempo de adsorção (min);

Realizando a integração da Equação (2) e aplicando as condições de contorno, $q_t = 0$ em $t = 0$; $q_t = q_e$ em $t = t$, tem-se uma equação de primeira ordem na forma linear (Equação 3).

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \left(\frac{k_1}{2,303}\right)t \quad (3)$$

A partir da inclinação da reta do gráfico $\log (q_e - q_t)$ versus t , obtém-se a constante de velocidade k_1 (SÁ, 2013).

2.5.2 Modelo de pseudo-segunda ordem

O modelo de pseudo-segunda ordem proposto por Ho e Mckay (1998) na equação (4) sugere que o passo limitante na biossorção de um poluente está na adsorção química (quimissorção), que considera a cobertura da superfície da biomassa em apenas uma camada e envolve as forças de valência através da partilha ou troca de elétrons e/ou quelação. (SANTOS, 2013).

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (4)$$

Onde:

q_e = Quantidade adsorvida no equilíbrio (mg g^{-1});

q_t = Quantidade adsorvida no tempo t (min^{-1});

k_2 = Constante de velocidade de pseudo-segunda ordem ($\text{g mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$);

Integrando a equação (4) e aplicando às condições de contorno, $q_t = 0$ em $t = 0$; $q_t = q_t$ em $t = t$, obtém-se a equação (5).

Linearizando, obtém-se:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (5)$$

A constante k_2 e a quantidade adsorvida no equilíbrio (q_e) são obtidas diretamente do gráfico de (t/q_t) versus t , k_2 é o coeficiente linear da reta e q_e é o coeficiente angular da reta (SÁ, 2013).

2.5.3 Modelo Cinético Elovich

A Equação de Elovich, representada pela Equação 6, é o modelo cinético proposto inicialmente por Roginsky e Zeldovich em 1934, ele é adequado para sistemas cujas superfícies de adsorção são heterogêneas. Este modelo foi

desenvolvido para descrever a quimiossorção de gases a sólidos (DEBRASSI et.al., 2011).

$$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha\beta) + \frac{1}{\beta} \ln(t) \quad (6)$$

Onde:

β = Constante de difusão intrapartícula (g mg^{-1});

α = Taxa inicial de adsorção ($\text{mg g}^{-1} \text{min}^{-1/2}$);

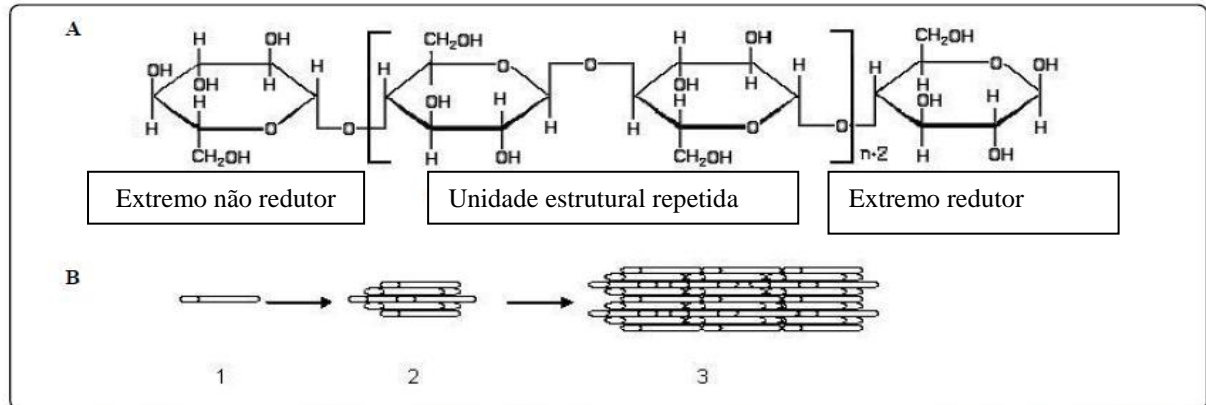
q_t = Quantidade adsorvida (mg g^{-1}) no tempo t (min).

As constantes α e β podem ser determinadas, elas são obtidas pelos coeficientes linear (α) e angular da reta (β) obtidos pelo gráfico de q_t versus t .

2.6 CELULOSE BACTERIANA

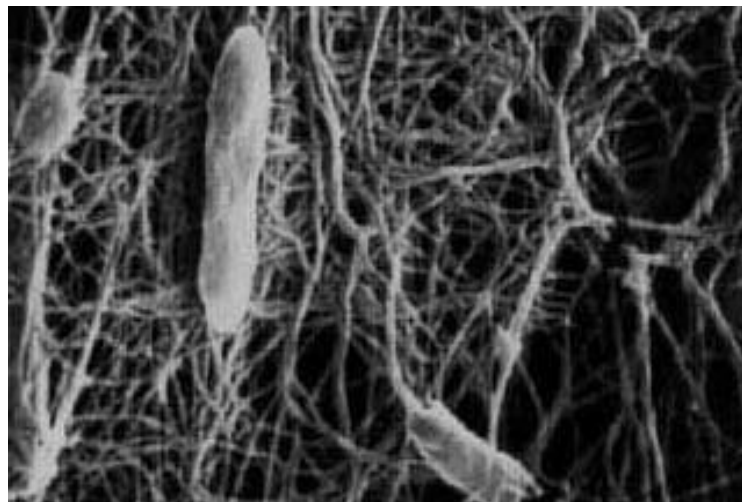
Celulose Bacteriana ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$) $_n$ é um polissacarídeo composto por cadeias longas e lineares. Elas são formadas por moléculas de glicose e unidas por ligações glicosídicas β (1 \rightarrow 4) (Figura 2). A união dessas cadeias forma microfibrilas orientadas em paralelo, formando ligações de hidrogênio e forças de *Van der Waals* intra e inter-molecular. As microfibrilas apresentam diâmetro de 3 a 8 nm, com grau de polimerização de 2.000 a 14.000. Elas se formam compactadas em fitas, as quais alcançam uma espessura de 1 a 9 μm , formando extensa estrutura reticulada. Sua condensação dá lugar a uma estrutura tridimensional como pode ser visto na Figura 3. (RAVEN et. al., 2001; CHÁVEZ-PACHECO et. al., 2004; KLEMM et. al., 2005; CZAJA et. al., 2006; CALDEIRA, 2013).

Figura 2 - Estrutura molecular da Celulose Bacteriana (a), desenho esquemático da microestrutura da Celulose Bacteriana (b) (1- cadeia linear, 2 - microfibrila de Celulose Bacteriana, 3 - microfibrilas compactadas)



Fonte: Chávez-Pacheco et. al. (2004).

Figura 3 - Microscopia eletrônica da Celulose Bacteriana (X20,000/2 μ m)

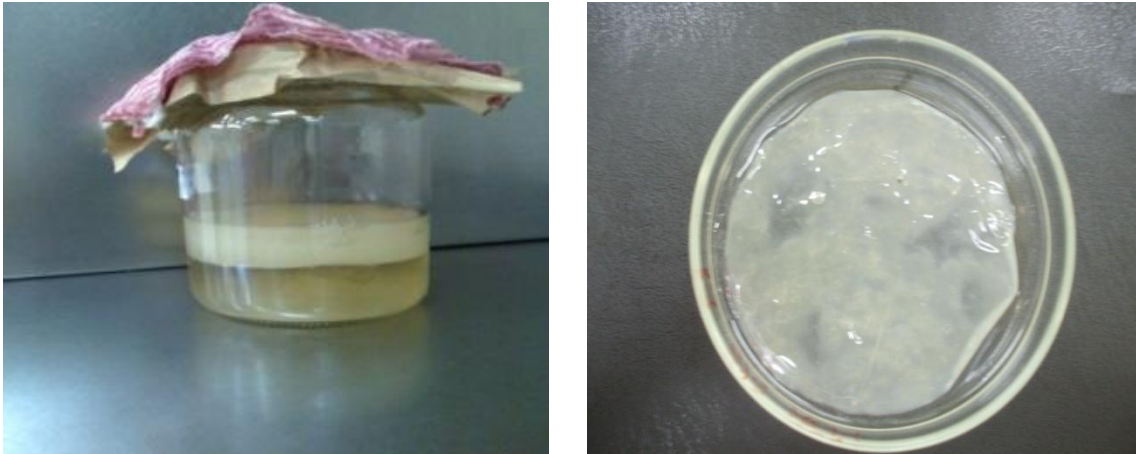


Fonte: Shoda (2007).

Algumas bactérias são capazes de produzir celulose durante o seu crescimento celular, como os gêneros *Gluconacetobacter*, *Rhizobium*, *Agrobacterium*, *Aerobacter*, *Achromobacter*, *Azotobacter*, *Sarcina* e *Salmonella* (MACHADO et.al., 2014).

As bactérias do gênero *Gluconacetobacter* se destacam, pois são capazes de sintetizar a celulose em escala comercial (MACHADO et.al., 2014) com produção na superfície do meio de cultura quando cultivada na forma estática. A celulose no estado úmido possui características de película gelatinosa, transparente, altamente resistente e homogênea (Figura 4 a e b).

Figura 4 - Celulose Bacteriana em processo fermentativo (a) e Celulose Bacteriana úmida (b)



Fonte: Almeida et al. (2013).

A produção de membranas de celulose pela *Gluconacetobacter hansenii* ocorre por processo fermentativo simples e de baixo custo. O meio de cultivo apresenta basicamente fontes de fósforo e nitrogênio, alta concentração de carbono como reserva energética (açúcares de várias fontes) e oligoelementos como Na^{+1} , K^{+1} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , com papéis importantes como cofatores enzimáticos nas vias de produção do polissacarídeo (WONG, 1993).

O cultivo estático forma películas planas, produzindo uma película na superfície do meio de cultivo como visto na Figura 4 que se dá num período de 7 a 20 dias conforme a espessura desejada. A película então pode ser removida, lavada para retirar as bactérias e restos da fermentação, estando pronta para ser utilizada (RECOUVREUX, 2008).

A Celulose Bacteriana não apresenta toxicidade e nem promove alergia, é biodegradável, com elevada pureza (livres de lignina e hemicelulose) e alta cristalinidade (60-90%). Além desses aspectos, possui extensa área superficial com fibras de pequenos diâmetros, o que proporciona elevada capacidade de retenção e adsorção de água (até 100% do seu peso), alta porosidade (aproximadamente 94%) e uma área superficial 300 vezes maior que a encontrada em celulose vegetal (VEIRA, 2013; CALDEIRA, 2013). Em geral, a Celulose Bacteriana mostra-se estável em soluções básicas, mas suscetível à hidrólise alcalina em condições drásticas ($\text{NaOH } 1\text{ mol L}^{-1}$, 170°C). (CHÁVEZ-PACHECO et al., 2004).

Devido as suas características particulares, a Celulose Bacteriana é utilizada em inúmeras aplicações industriais, conforme se verifica no Quadro 4, demonstrando ser altamente versátil.

Quadro 4 - Aplicações da Celulose Bacteriana

Área	Aplicação
Cosméticos	Estabilizador de emulsões como cremes tônicos, condicionadores, polidores de unhas e máscaras faciais.
Indústria Têxtil	Roupas para esportes, tendas e equipamentos de camping.
Mineração e refinaria	Esponjas para coleta de vazamento de óleo, materiais para absorção de toxinas.
Tratamento de lixo	Reciclagem de minerais e óleos.
Purificação de esgotos	Purificação de esgotos urbanos, ultrafiltração de água.
Comunicações	Diafragmas para microfones e fones estéreos.
Indústria de alimentos	Celulose comestível (“nata de coco”).
Indústria de papel	Substituição artificial de madeira, papéis especiais.
Medicina	Pele artificial temporária para queimaduras e úlceras, componentes de implantes dentários.
Laboratórios	Imobilização de proteínas de células, técnicas cromatográficas, meio para cultura de tecidos.
Eletrônica	Materiais opto-eletrônicos (telas de cristal líquido, suporte para OLED).
Energia	Membranas célula combustível (paládio).

Fonte: Donini et. al (2010).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os testes foram realizados no Campus Ponta Grossa da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), nos seguintes laboratórios:

- Laboratório de Química Instrumental (H-003);
- Laboratório de Carnes (D-003);
- Laboratório de Microbiologia (C-004).

O efluente industrial foi coletado em uma indústria têxtil localizada na cidade de Quedas do Iguaçu – PR. O procedimento experimental é composto de várias etapas, inicia-se com a produção e processamento da Celulose Bacteriana até os testes em que se utilizou a Celulose Bacteriana como biossorvente. No Fluxograma 1, a seguir, encontra-se a sequência das atividades realizadas durante o desenvolvimento do presente trabalho.

Fluxograma 1: Sequência de atividades realizadas



Fonte: Autoria própria (2017)

3.1 PRODUÇÃO DE CELULOSE BACTERIANA

O processo fermentativo foi realizado utilizando 200 mL de meio de cultura, Caldo ALABAN (ALABAN, 1962), (100 g L⁻¹ de sacarose, 5g L⁻¹ de fosfato ácido de potássio; 2,5 g L⁻¹ de extrato de levedura; 0,2 g L⁻¹ de sulfato de magnésio heptahidratado; 0,6 g L⁻¹ de sulfato de amônio) diluído em água destilada e esterilizado em autoclave (Phenix) a 121°C, por 20 minutos. Em seguida, foi inoculado com 15% (v/v) do micro-organismo, em ambiente asséptico, e encubado em estufa bacteriológica (QUIMIS) a 30 ±2°C por 168 horas e mantido em cultivo estático (ALMEIDA, 2015).

3.2 PROCESSAMENTO DE CELULOSE BACTERIANA

Primeiramente a Celulose Bacteriana passou pelo processo de purificação, ocorrendo a destruição do micro-organismo a partir do aquecimento da Celulose Bacteriana até a fervura por 10 minutos. Após a destruição do micro-organismo, o filme de Celulose Bacteriana foi submetido a suscetíveis lavagens com água deionizada, com posterior tratamento em uma solução de hipoclorito 12% durante 24 horas, seguido de lavagens com água deionizada (ALMEIDA, 2015).

Após a purificação, as películas de celulose foram prensadas para a retirada do excesso de água e secas em estufa (QUIMIS – modelo Q317B) com circulação de ar forçado a $45^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 24 horas.

Passado o processo de fervura, não há mais a presença de micro-organismo vivo o que se torna uma vantagem em relação ao uso da biomassa viva, uma vez que não sofrem limitações devido à toxicidade do meio e não requerem renovação do meio de cultura.

3.3 TESTES PRELIMINARES

3.3.1 Preparo do Corante

As soluções sintéticas de Corante Reativo B2R utilizado nos testes seguintes apresentam uma concentração de 75 mg L^{-1} . As soluções sintéticas foram preparadas em balões volumétricos, utilizando como solvente a água destilada.

3.3.2 Influência do pH sobre a banda de absorção do corante

O pH das análises foram ajustados utilizando soluções de hidróxido de Sódio (NaOH) e ácido clorídrico (HCl).

O teste da influência do pH sobre a banda de absorção do corante foi realizado em duplicata com o intuito de verificar a faixa de pH em que poderá sofrer mudanças na banda de absorção do corante quando em leitura no espectrofotômetro UV-Vis, essa alteração pode ocorrer devido a possíveis alterações na estrutura do corante.

No teste, foram utilizados 12 béqueres com 50 mL de solução de corante, com pHs ajustados individualmente de 1 a 12 e concentração de 75 mg L^{-1} .

Posteriormente, foi realizada a varredura em espectrofotômetro UV-Vis (Femto – modelo 800 XI) com cada uma das 12 amostras para monitorar o valor do comprimento de onda de máxima adsorção do corante. Os valores de comprimento de onda específicos encontrados nesse teste foram utilizados nos experimentos posteriores.

3.3.3 Curva de calibração

Para a construção da curva de calibração foi preparada uma solução estoque de 100 mg L⁻¹. A partir da solução estoque do corante em água, realizaram-se as diluições com o balão volumétrico. As concentrações preparadas de corante Amarelo Reativo B2R foram de 12,5; 25; 50; 75 e 100 mgL⁻¹. Em seguida, foi realizada a leitura de absorbância para cada concentração em espectrofotômetro UV-Vis. A partir dos dados coletados, plotou-se um gráfico de concentração *versus* absorbância, no qual se obteve a equação da reta, determinando a concentração de corante nas soluções sintéticas, assim como as concentrações do corante após os ensaios de bioadsorção.

3.4 INFLUÊNCIA DO pH NA BIOSSORÇÃO PELA CELULOSE BACTERIANA

Para este teste utilizaram-se os mesmos valores de pH do item 3.3.2. Em Erlenmeyer de 250 mL foi colocada 0,3 g de Celulose Bacteriana seca e 50 mL de solução do corante Amarelo Reativo B2R (75 mg L⁻¹), a temperatura foi mantida em torno de 30°C, sob agitação de 150 rpm em incubadora orbital (Tecnal – modelo Te 420) por 22 horas.

Decorrido o tempo, separou-se o sobrenadante e realizou-se a leitura em espectrofotômetro UV-Vis em comprimento definido no item (3.3.2). Os testes foram realizados em duplicada, averiguando o pH que apresentou melhor remoção de corante.

Para calcular a porcentagem de remoção do corante analisado utilizou-se a Equação (7).

$$\% \text{ Remoção} = 100 \left(\frac{Abs_i - Abs_f}{Abs_i} \right) \quad (7)$$

Onde:

Abs_i: absorvância inicial – solução-estoque;

Abs_f: absorvância final – sobrenadante.

3.5 TESTE DA INFLUÊNCIA DA ESPESSURA DA CELULOSE BACTERIANA NA BIODSORÇÃO

Este teste teve por finalidade observar a influência da espessura da Celulose Bacteriana seca na biodsorção. O teste foi realizado a partir da separação da Celulose Bacteriana Seca em quatro grupos, de acordo com a espessura medida, sendo que:

Grupo 1- Espessura entre 2-3 e 3-4 μm e sem delimitação de área;

Grupo 2- Espessura entre 1-2 μm e sem delimitação de área;

Grupo 3- Espessura 1-2 μm e com área de 2 cm^2 ;

Grupo 4- Espessura de 0-1 μm e sem delimitação de área.

Em Erlenmeyer de 250 ml adicionou-se 0,3 g de Celulose Bacteriana seca com as espessuras do grupo 1, grupo 2, grupo 3 e grupo 4 e, 50 ml da solução de corante Amarelo Reativo B2R (75 mg L^{-1}). O teste foi realizado em triplicata sob agitação de 150 rpm por 22 horas, em uma temperatura média de 30°C. O pH utilizado foi definido pelo melhor resultado encontrado no teste 3.4.

3.6 TESTE DE BIODSORÇÃO COM EFLUENTE INDUSTRIAL

Para o efluente, composto por uma mistura de corantes e substâncias desconhecidas remanescentes do processo de lavagem, efetuou-se a varredura em espectrofotômetro UV-Vis a fim de verificar o máximo comprimento de onda. Após realizado o ajuste de pH, conforme resultados obtidos do item 3.4, executou-se novamente a varredura em espectrofotômetro UV-Vis (Femto – modelo 800 XI).

Dois testes foram realizados em triplicata, a saber em um se manteve o pH do efluente e em outro houve o ajuste de pH. Em Erlenmeyer de 250 ml, colocou-se 0,3 g de Celulose Bacteriana seca e 50 mL de efluente industrial, manteve-se sob agitação de 150 rpm por 22 horas e com temperatura de 30 °C. Ao final das 22 horas, separou-se o efluente industrial do biodsorvente e se efetuou a leitura da absorvância em espectrofotômetro UV-Vis (Femto – modelo 800 XI).

3.7 TESTE CINÉTICO

Em Erlenmeyer de 250 ml, colocou-se 0,3 g da Celulose Bacteriana e 50 mL da solução sintética de corante de 75 mg L^{-1} com valor de pH ajustado conforme resultado do teste de influência do Ph no item 3.4, eles foram mantidos sob agitação em incubadora *orbital* (Tecnal – modelo Te 420) a 150 rpm e 30°C. A análise foi realizada em triplicata.

As alíquotas da solução foram retiradas em intervalos de tempo pré-determinados de 0 a 48 horas (0, 0.08, 0.25, 0.5, 2, 4, 8, 9, 12, 14, 18, 24, 48 e 72). Cada amostra foi retirada no tempo específico e lida sua absorbância em espectrofotômetro UV-Vis (Femto – modelo 800 XI). Ao final do teste cinético, os resultados foram ajustados e comparados de acordo com os modelos cinéticos.

3.8 REUTILIZAÇÃO DA CELULOSE

Depois dos testes dos itens anteriores serem realizados, restou a Celulose Bacteriana com corante impregnado. Para a remoção deste corante, a Celulose Bacteriana hidratada permaneceu em contato com hipoclorito de sódio 12 % por um período de 24 horas. Depois, a celulose foi lavada com água destilada e seca em estufa.

Em Erlenmeyer de 250 ml, adicionou-se 0,3 g da celulose reutilizada seca e 50 mL solução sintética de Corante Reativo B2R 75 mg L^{-1} . O meio permaneceu por um período de tempo, como definido no item 3.6, sob agitação de 150 rpm e temperatura de 30° C. Ao final do período foi lida a absorbância em espectrofotômetro UV-Vis e calculou-se a porcentagem de remoção do corante.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 PRODUÇÃO DE CELULOSE BACTERIANA

A Figura 5 apresenta a formação do filme de Celulose Bacteriana na superfície do meio.

Figura 5 - Crescimento da Celulose Bacteriana em estufa



Fonte: Autoria própria (2017)

As Figuras 6 (a, b e c) apresentam o crescimento do filme de Celulose Bacteriana.

Figura 6 - Formação do filme 24 horas após a inoculação (a), filme 96 horas após a inoculação (b) e 162 horas após inoculação (c)



Fonte: Autoria própria (2017)

Nota-se que o filme de Celulose Bacteriana após o período de crescimento estipulado apresentou-se bastante espesso, no entanto após a secagem o filme diminuiu aproximadamente 90% de espessura.

É possível obter mais de um filme de Celulose Bacteriana em um mesmo frasco, conforme a Figura 7. Para que isto ocorra, deve-se, ao final das 162 horas de incubação, agitar o meio de cultura para que o filme de Celulose Bacteriana, o qual estava na superfície decante, forme um novo filme de Celulose Bacteriana. Em geral, é possível realizar mais de uma vez este procedimento sem que ocorra a perda do inóculo.

Figura 7 - Crescimento do segundo filme de Celulose



Fonte: Autoria própria (2017)

De acordo com ALMEIDA *apud* HESTRIN & SCHRAMM (1954), ALABAN (1962) e MASAOKA (1992), o filme de celulose pode ser uma maneira de o micro-organismo assegurar sua permanência na interface líquido-ar, pois o oxigênio está mais concentrado. Acredita-se que a celulose sirva para manter a bactéria em ambiente aeróbio na superfície de frutas em decomposição, usando-a para a sua nutrição. A celulose pode atuar como uma matriz extracelular para acentuar a colonização pelas bactérias, prevenir o potencial dos competidores e obter benefícios nos substratos. Outra possível função é a de oferecer proteção para as células face aos prejuízos causados pela luz ultravioleta. A película pode auxiliar na

retenção da umidade, prevenindo o ressecamento dos substratos naturais enquanto a bactéria está se reproduzindo.

4.2 PROCESSAMENTO DA CELULOSE

Após a destruição do micro-organismo *Gluconacetobacter hansenii*, a Celulose Bacteriana formada foi lavada para a retirada dos resíduos da fermentação conforme visto na figura 8 a. Após a lavagem, realizou-se o tratamento que permaneceu durante 24 horas em uma solução de hipoclorito de sódio 30%, em temperatura ambiente conforme exposto na figura 8 b.

Figura 8 - Filme de Celulose Bacteriana após destruição do micro-organismo e lavagem (a) e filme de Celulose Bacteriana após 24 horas em uma solução de hipoclorito de sódio 30% (b)



Fonte: Autoria própria (2017)

Após o processo, a Celulose Bacteriana foi lavada novamente, prensada e seca em estufa a 30°C por 24 horas, de acordo com a figura 9 abaixo.

Figura 9 - Celulose Bacteriana seca



Fonte: Aatoria própria (2017)

Após a secagem, a Celulose Bacteriana permaneceu em um dessecador com sílica.

4.3 INFLUÊNCIA DO pH SOBRE A BANDA DE ABSORÇÃO DO CORANTE

Posterior ao devido ajuste de pH, realizou-se varreduras em espectrofotômetro UV-Vis das soluções sintéticas do Corante Amarelo Reativo B2R. Os resultados encontrados para o experimento estão na Tabela 1, abaixo.

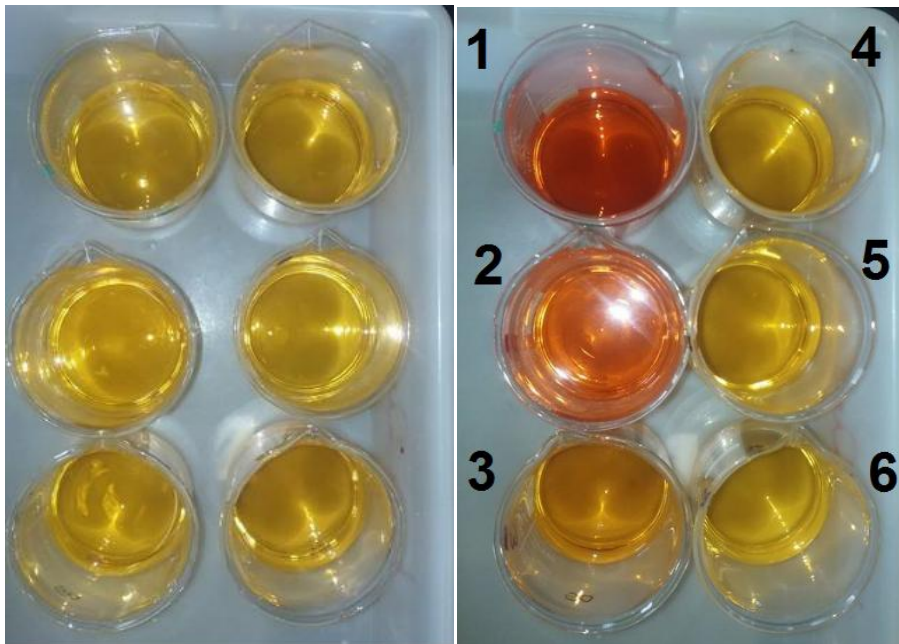
Tabela 1- Resultados do teste de influência de pH na banda de adsorção

pH	Comprimento de onda (nm)
1	440,7
2	430,6
3	419,2
4	415
5	411,6
6	411
7	411
8	411
9	411
10	411
11	411
12	411

Fonte: Aatoria própria (2017)

Analisando os dados apresentados na Tabela 1, observa-se que ocorreu um deslocamento na banda de adsorção quando o pH da solução estava entre 1 e 5. Dessa forma, foi visível a mudança de coloração como se percebe na figura 10 a e b, que passa de amarelo para um tom de amarelo/laranja nos pHs 1 e 2.

Figura 10 - Soluções do Corante Amarelo Reativo B2R sem ajuste de pH (a) e com ajuste de pH (b)



Fonte: Autoria própria (2016)

Considerando que ocorre um deslocamento na banda de Adsorção quando ocorre a mudança de pH do corante estudado, os testes seguintes, que utilizaram o corante Amarelo Reativo B2R, tiveram suas absorvâncias lidas no comprimento de onda adequado conforme a Tabela 1.

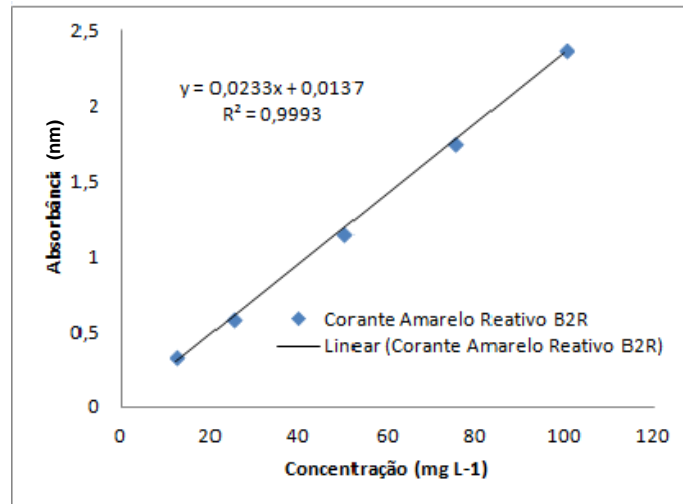
4.4 CURVA DE CALIBRAÇÃO

Nas diluições propostas foram realizadas a varredura em espectrofotômetro UV-Vis e o comprimento de onda de máxima adsorção encontrado em todas as diluições foi de 411 nm.

Em seguida, foi lida a absorvância em espectrofotômetro UV-Vis para cada

concentração e plotado um gráfico de absorvância em função da concentração, conforme apresentado no Gráfico 1.

Gráfico 1- Curva de calibração para o Corante Amarelo Reativo B2R



Fonte: Autoria própria (2017)

Por meio do Gráfico 1 foi possível encontrar a equação da reta, Equação (8).

$$\text{Abs} = 0,0233C + 0,0137 \quad (8)$$

Onde:

Abs: Absorvância;

C: Concentração das soluções (mg L⁻¹).

Analisando o Gráfico 1, observa-se uma ótima correlação linear dos pontos uma vez que o R² se aproxima de 1. Desta forma, a equação da reta encontrada pode ser utilizada de forma confiável para a determinação das concentrações iniciais e finais do Corante Amarelo Reativo B2R.

4.5 TESTE DA INFLUÊNCIA DO pH NA BIODSORÇÃO

O pH mostra um parâmetro muito importante no processo de biossorção. Sua influência vai depender das características da superfície do adsorvente e do corante utilizado (GONÇALVES, 2015). Uma vez que a propensão em adsorver cátions ou ânions indica se a superfície está carregada positivamente ou

negativamente, ou seja, quando a superfície apresentar predominância de carga superficial positiva, será favorecida a adsorção de ânions em carga superficial negativa e será favorecida a adsorção de cátions (HONORATO, 2015).

Para determinação do efeito do pH no processo de biossorção do Corante Reativo B2R pela Celulose Bacteriana seca, ajustou-se o pH da solução em uma faixa de 1 a 12, a solução permaneceu em contato com a celulose por 22 horas. Na Tabela 2 estão apresentadas as condições experimentais utilizadas, empregando-se as condições encontradas por Zanutto e Da Silva (2015).

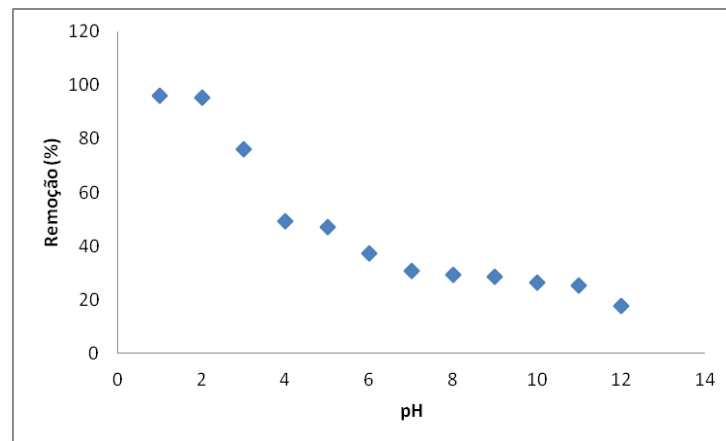
Tabela 2- Parâmetros utilizados no teste de influência do pH

Parâmetros	
Concentração da solução sintética de Corante Amarelo Reativo B2R	75mg L ⁻¹
Velocidade de agitação	150 rpm
Temperatura do meio	30 ° C
Massa de biossorvente	0,3 g
Volume de solução sintética	50 mL

Fonte: Aatoria própria (2017)

Ao final do período estipulado, realizou-se a medida da absorbância do corante remanescente no meio em espectrofotômetro UV-Vis. Para calcular a concentração e, posteriormente, a porcentagem de remoção do corante Amarelo Reativo B2R para este e os demais testes, utilizou-se a Equação (7), descrita anteriormente.

No Gráfico 2 abaixo, encontram-se os teores de percentuais encontrados para a remoção do corante em função do pH.

Gráfico 2- Influência do pH na remoção do Corante Reativo Amarelo B2R

Fonte: Autoria própria (2017)

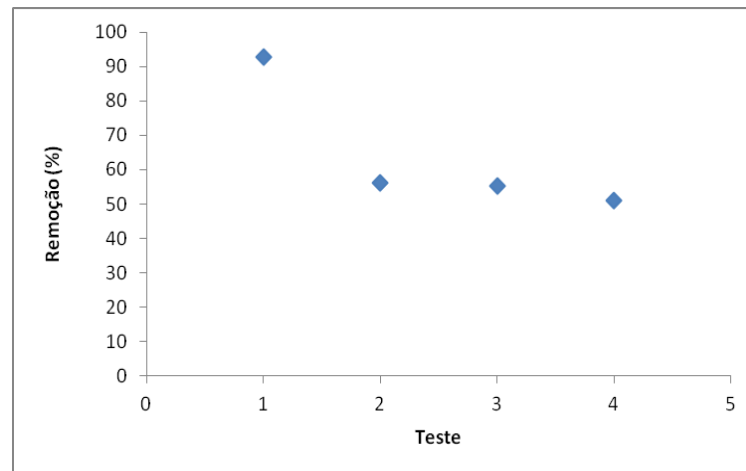
Os valores de pH encontrados estão de acordo com o trabalho realizado por Honório (2013), no qual foi testada a influência do pH na remoção de Corante Reativo Azul BF-5G. Nesse trabalho foi utilizada a casca de soja com adsorvente, o pH em que melhor ocorreu a remoção do corante utilizado também ficou entre 1 e 2.

Ao analisar os resultados obtidos, foi possível observar uma influência desta propriedade no processo. Os melhores resultados obtidos foram quando o meio estava em pH 1 e 2, enquanto as menores quantidades absorvidas foram para as soluções entre o pH 7 e 12. O pH influencia tanto os sítios de ligação do corante na superfície do adsorvente quanto a química da água. Os corantes reativos liberam ânions em solução. Uma maior eficiência em valores de pH baixos pode estar relacionada à atração eletrostática entre esses ânions carregados negativamente e as cargas positivas na superfície do adsorvente (DALL AGNOL, 2014).

4.6 TESTE DA INFLUÊNCIA DA ESPESSURA NA BIOSSORÇÃO

Ao final do período de 22 horas, em que a celulose permaneceu em contato com o corante nas condições iniciais mencionadas na Tabela 2, separou-se o adsorvato do adsorvente e foi lida a absorbância em espectrofotômetro UV-Vis em comprimento de onda definido no item 4.2. Utilizou-se o pH 1 por apresentar uma remoção um pouco maior que o pH 2. No Gráfico 3 abaixo, encontra-se o resultado obtido para esse estudo.

Gráfico 3- Influência da espessura da Celulose Bacteriana seca na remoção do corante



Fonte: Aatoria própria (2017)

Observa-se que a melhor remoção ocorreu com o Grupo 1, já os Grupos 2, 3 e 4 obtiveram resultados bem próximos e pouca remoção. Desta forma, caracteriza-se que a espessura da Celulose Bacteriana Seca influencia de forma significativa na remoção do Corante Amarelo Reativo B2R.

Devido ao fato da Celulose Bacteriana produzida encontrar-se em maior quantidade nas espessuras entre 2-3 μm , adotou-se somente essa espessura para os testes posteriores.

4.6 TESTE DE REMOÇÃO DA COR DE UM EFLUENTE INDUSTRIAL

Com o intuito de testar a possibilidade de aplicação da técnica desenvolvida nesse trabalho em amostras reais de efluentes industriais, desenvolveu-se um experimento para testar a remoção da cor de um efluente industrial, de uma indústria que realiza um tratamento de efluente utilizando o processo de floculação/decantação e lagoas aeradas. O resíduo retirado da decantação é enviado para outra empresa que dá o destino final para o lodo gerado, o que acarreta um grande custo para a empresa. A água depois de tratada volta para o processo de lavagem. Na Figura 11a, tem-se o efluente têxtil no processo de floculação e, na Figura 11b, tem-se o lodo removido do efluente industrial.

Figura 11 - Efluente industrial no processo de floculação (a) e o lodo gerado no tratamento do efluente (b)



Fonte: Aatoria própria (2016)

Para a realização do experimento, primeiramente foi executada a varredura em espectrofotometro UV-Vis e o comprimento de onda de máxima absorção foi de 656 nm. Após o ajuste do efluente em pH 1, efetuou-se novamente a varredura e o comprimento de onda de máxima absorção manteve-se em 656 nm.

Posteriormente, o efluente industrial permaneceu em contato com a Celulose Bacteriana seca. Os resultados obtidos aparecem na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3- Remoção da cor de efluente industrial.

	pH	Remoção (%)
1		80,66
Sem ajuste		51,42

Fonte: Aatoria própria (2017)

Nota-se a mudança da coloração do efluente industrial sem nenhum tratamento na figura 12a e o efluente industrial após o teste realizado na figura 12b.

Figura 12 - Efluente industrial sem nenhum tratamento (a) e o efluente industrial após remoção da cor utilizando Celulose Bacteriana (b)



Fonte: Autoria própria (2017)

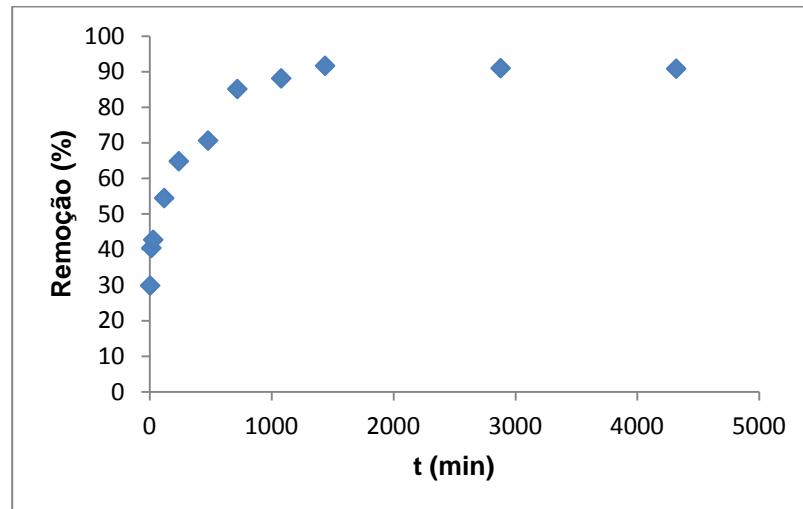
A literatura descreve inúmeras dificuldades na remoção de corantes provenientes de efluentes têxteis. Pois, os corantes são moléculas altamente estáveis e se tornam resistentes à degradação através de luz, processos químicos, biológicos, entre outros. Ademais, a composição das águas residuais de tingimento não é simplesmente a mistura de água e corantes, mas incluem outros materiais tais como sal, surfactantes, ácidos, álcalis e outros (KIMURA, 2001). Se a coloração do efluente for um problema, são necessárias medidas corretivas. Por isso, baseando-se em experiências publicadas na literatura, é necessária descoloração sempre que a concentração de corante no curso de água exceder a 5 mg L^{-1} (KIMURA, 2001). Portanto, o estudo realizado se torna viável para remoção de corantes têxteis, uma vez que removeu 81% quando testado com pH 1, da mistura de corantes presentes no efluente industrial.

4.7 TESTE CINÉTICO

Para o teste cinético, o pH foi ajustado em 2, visto que a solução sintética do Corante Reativo B2R apresentava dificuldade em diminuir o pH de 2 para 1. Já que isso poderia ocasionar a utilização de grande volume da solução de HCl, uma vez que foram preparados 4 L de solução de corante e, devido ao grande volume da solução HCl utilizada, poderia ocorrer a diluição da solução do corante e, conseqüentemente, interferir nos resultados. As amostras foram mantidas sob agitação de 150 rpm e 30°C em tempos de 0.08, 0.25, 0.5, 2, 4, 8, 12, 24, 48 e 72

horas. Ao final de cada período de tempo foi lida a absorvância em espectrofotômetro UV-Vis no comprimento de onda conforme definido no item 3.2. A quantidade do corante Amarelo Reativo B2R adsorvido foi determinada segundo a Equação (1). No Gráfico 4, apresenta-se a porcentagem de remoção do corante versus o tempo.

Gráfico 4- Porcentagem de remoção do corante em função do tempo



Fonte: Autoria própria (2017)

Ao analisar o Gráfico 4, observa-se que a sorção foi rápida nos primeiros instantes, no qual se obteve uma remoção de 54% em 120 minutos. Após o período de rápida sorção, o processo ocorreu mais lentamente, atingindo o equilíbrio em 1440 minutos (24 horas), com um percentual de remoção de 91%.

Em estudo realizado por Kimura (2001), observou-se que o Corante Reativo Preto 5 em pH 2,0 apresentou um decaimento rápido nas primeiras horas seguido por uma variação gradual e atingiu a condição de equilíbrio em torno de 24 horas.

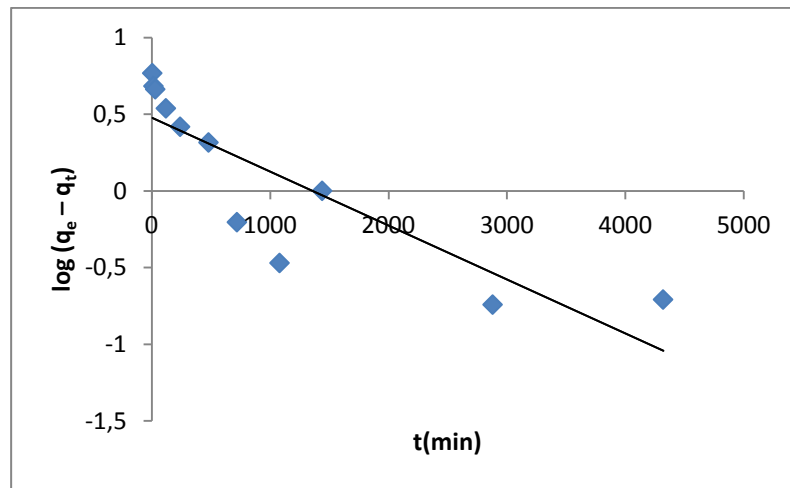
Encontrou-se comportamento similar no presente estudo comparado ao de Zanutto e Da Silva (2016), que analisaram o bagaço de malte como bioissorvente do Corante Amarelo Reafix B2R. Ocorreu rápida sorção nos primeiros instantes, seguido por um período do qual o processo passou a ocorrer mais lentamente até atingir o equilíbrio.

O comportamento cinético observado pode ocorrer devido à quantidade de sítios ativos livres no início da adsorção, os quais ao longo do tempo vão criando forças de repulsão.

4.7.1 Aplicação dos modelos cinéticos

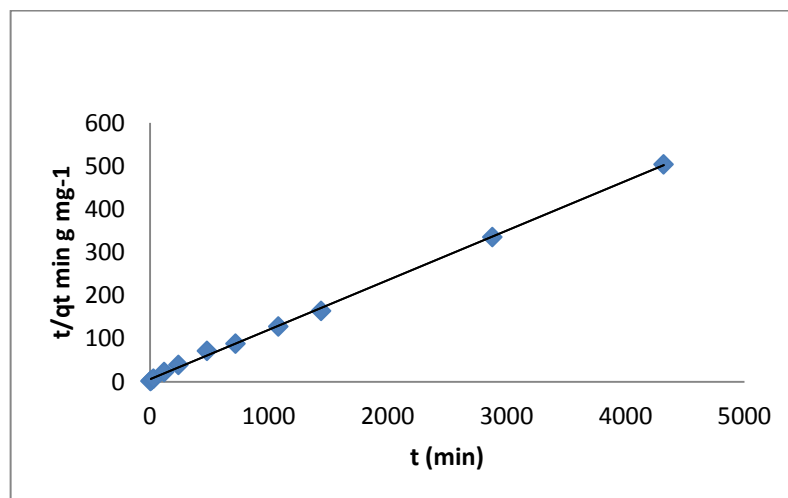
Ao utilizar a Celulose Bacteriana com a finalidade de avaliar a cinética de adsorção do corante como bioissorvente, testaram-se os modelos cinéticos pseudo-primeira ordem, pseudo-segunda ordem e Elovich. Esses modelos foram ajustados aos dados experimentais obtidos no estudo cinético e avaliados para verificar o que melhor descreve o processo. Desse modo, os gráficos 5, 6 e 7 foram obtidos ao utilizar as equações dos modelos cinéticos supracitados, respectivamente.

Gráfico 5- Modelo cinético de pseudo-primeira ordem ajustados aos dados experimentais

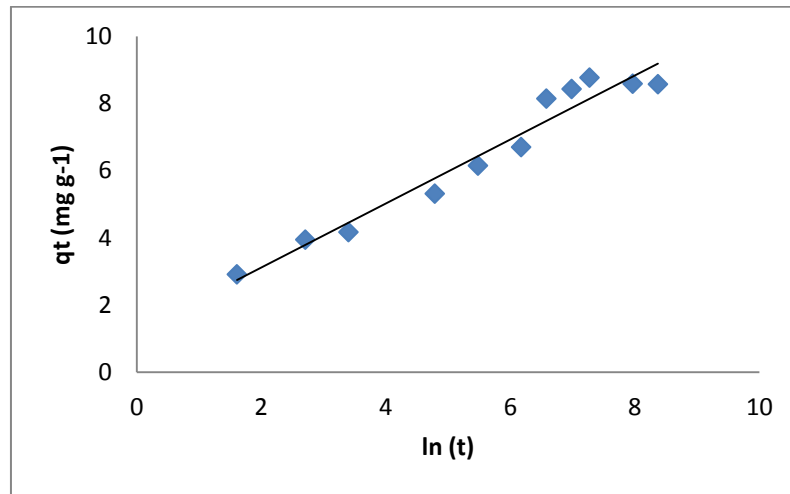


Fonte: Aatoria própria (2017)

Gráfico 6- Modelo cinético de pseudo-segunda ordem ajustados aos dados experimentais



Fonte: Aatoria própria (2017)

Gráfico 7- Modelo cinético de Elovich ajustados aos dados experimentais

Fonte: Autoria própria (2017)

As equações lineares utilizados para os modelos cinéticos, bem como a coeficientes de correlação (R^2) gerados, encontram-se descritas na Tabela 4.

Tabela 4- Coeficientes de correlação dos modelos cinéticos.

Modelos	Equação linear	Coefficiente de correlação R^2
Pseudo-Primeira Ordem	$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \left(\frac{k_1}{2,303}\right)t$	0,740
Pseudo-Segunda Ordem	$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e}t$	0,999
Elovich	$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha\beta) + \frac{1}{\beta} \ln(t)$	0,954

Fonte: Autoria própria (2017)

Pela comparação dos coeficientes de correlação (R^2) presentes na Tabela 4, observa-se que o modelo de pseudo-segunda ordem foi o qual melhor se ajustou ao processo em estudo. Conseqüentemente, sugere-se que no processo está envolvido um mecanismo de quimissorção, ou seja, forma-se uma única camada molecular adsorvida (monocamada), na qual se formam ligações químicas entre as moléculas de adsorvato e adsorvente. Pode-se, também, averiguar que o q_{eq} estimado pelo modelo de pseudo-segunda ordem que foi de 6,11 mg g⁻¹ se aproximou mais ao q_{eq} obtido experimentalmente (8,77 mg g⁻¹).

O sistema estudado atingiu o equilíbrio em 24 horas, com 91 % de remoção

do corante. No entanto, em 12 horas, 85% do corante já havia sido removido.

Borba (2012), em seu trabalho sobre o estudo da cinética e do equilíbrio de adsorção dos corantes azul turquesa QG e amarelo reativo 3R em carvão ativado, com pH da solução em 2 e temperatura de 30°C, obteve o tempo de equilíbrio em 13,33 horas e 20 horas, respectivamente. As taxas de remoção obtidas foram de 67% para o corante azul e 82% para o amarelo.

Leichtweis (2013) realizou o levantamento dos dados cinéticos de adsorção do corante amarelo reativo BF3R utilizando pseudocaule de bananeira (*musa sp*) a 30°C de temperatura e 150 rpm de agitação, obteve-se o tempo de equilíbrio em 24 horas. No entanto, aproximadamente 80% de saturação do adsorvente foi alcançada em 15 horas de contato.

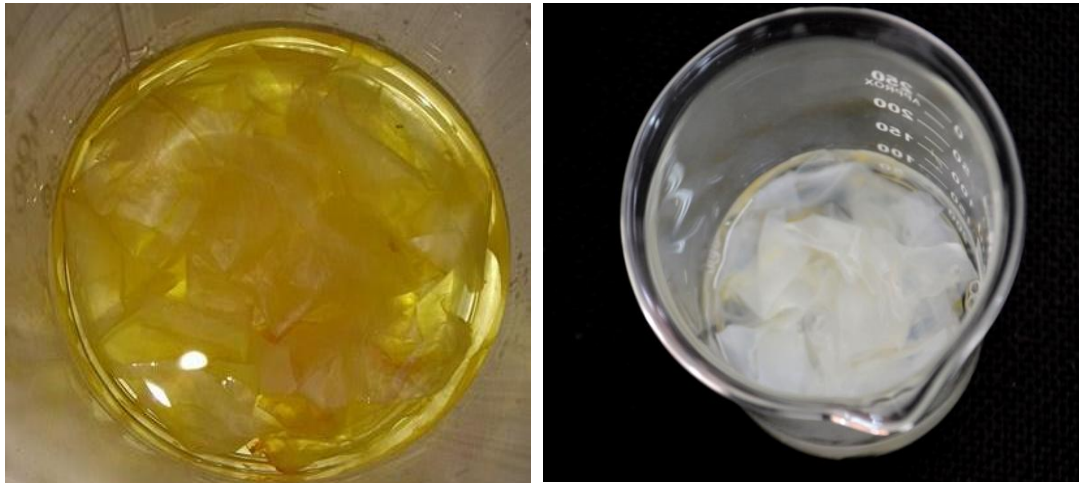
Koroishi (2000), em seu estudo, utilizou soluções do corante Remazol Vermelho RG, carvão ativado, serragem e algas marinhas arribadas como adsorventes. Esses permaneceram com o corante por 24 horas e 30°C com agitação e sem controle de pH. Ao final deste período foi obtida uma remoção de 98,97% para o carvão ativado, 59,27% para a serragem e 59,76% para a alga marinha. As razões entre a massa de adsorvente e o volume de solução de corante reativo utilizado nestes testes foram de 10% para a alga e 15% para o carvão ativado e a serragem.

Os percentuais de remoção do corante amarelo reativo em que se utilizou a Celulose Bacteriana como bioadsorvente foi superior se comparado aos estudos realizados por Borba (2012) e Leichtweis (2013), com praticamente o mesmo tempo de equilíbrio.

4.8 TESTE DE DESSORÇÃO E REUTILIZAÇÃO

A dessorção do corante presente na Celulose Bacteriana busca avaliar seu reuso nos processos de descoloração. Nesse procedimento, empregou-se a Celulose Bacteriana que foi utilizada no teste cinético pelo período de 24 horas. Após permanecer em solução de hipoclorito de sódio 12% por um período de 24 horas, a celulose apresentou uma descoloração que pode ser observada na Figura 13 a e b. Nela se apresenta a Celulose Bacteriana com a coloração amarelo do corante ao lado da Celulose Bacteriana sem coloração.

Figura 13 - Celulose Bacteriana antes (a) e após a descoloração com hipoclorito de 12% (b)



Fonte: Autoria própria (2017)

Após o processo de dessorção, a Celulose Bacteriana foi lavada com água destilada e seca em estufa, permanecendo por 24 horas em contato com o Corante Amarelo Reativo B2R. Ao final do período estipulado, realizou-se a leitura da absorbância em espectrofotômetro UV-Vis e calculada a porcentagem de remoção pela Equação (7). A porcentagem de remoção obtida no reuso da celulose bem como no teste cinético de 24 horas, o qual deu origem a celulose reutilizada, estão elencadas na Tabela 5.

Tabela 5: Porcentagem de remoção da Celulose Bacteriana reutilizada

	Remoção (%)
Teste cinético de 24 horas	91,65
Reutilizada	70,50

Fonte: Autoria própria (2017)

Como se pode observar na Tabela acima, a Celulose Bacteriana apresentou possibilidade de reuso uma vez que apresenta uma porcentagem de remoção de 70,5%. A razão da remoção do corante Amarelo Reativo B2R pela Celulose Bacteriana utilizada no teste cinético de 24 horas e a Celulose Bacteriana reutilizada foi de 76,95 %.

5 CONCLUSÃO

Nesse trabalho realizou-se a produção e avaliação do potencial da Celulose Bacteriana na bioissorção do Corante Reativo B2R.

No teste de influência do pH na bioissorção, notou-se que os pHs que obtiveram melhor remoção foram 1 e 2, com um percentual de remoção de 95% e 94%, respectivamente. Observou-se também que a espessura da Celulose Bacteriana interfere na remoção do corante, onde a maior espessura obteve melhor resultado. A Celulose Bacteriana se mostrou bastante eficiente quando aplicada em um efluente real removendo 80,66% da mistura de corantes presentes no efluente industrial.

Com o teste cinético foi possível observar que o equilíbrio foi atingido em 24 horas, com uma remoção de 91,63%. Entretanto, se uma indústria deseja remover somente 50 % do corante, é possível que em menos de 4 horas seja atingido o valor desejado.

Por fim, realizou-se o teste de reutilização da Celulose Bacteriana, em que o bioissorvente permaneceu em hipoclorito de sódio 15%, por 24 horas para que ocorresse a dessorção do corante amarelo reativo. Posteriormente, testou-se uma nova remoção a qual apresentou ótimo resultado, chegando a remover até 70%.

Analisando os resultados encontrados no presente estudo, pode-se afirmar que a Celulose Bacteriana é viável para a remoção do Corante Reativo B2R, bem como de uma mistura de corantes de um efluente industrial, sendo possível a sua reutilização.

Baseado nos resultados encontrados sugere-se para trabalhos futuros:

- Utilizar a Celulose Bacteriana seca na forma de pó.
- Avaliar a bioissorção da Celulose Bacteriana em outras substâncias.
- Realizar teste isotérmico.
- Caracterizar a Celulose Bacteriana após o processo de bioissorção.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGS Química. Ficha de informações de segurança de produtos químicos – FISPQ. Disponível em <<http://www.agsquimica.com.br/fispq/FISPQ%20%20AMARELO%20REAFIX%20B2R.pdf>>. Acesso em: 04 out. 2015.

ALABAN, C. A. Studies on the optimum conditions for "nata de coco" bacterium or "nata" formatioin in coconut water. **Philippine Agriculturist**, Manila. v.45, p. 490-516, 1962.

ALMEIDA, Denise M. et.al. Avaliação de embalagens de Celulose Bacteriana incorporado com timol para conservação microbiológica de bolo. **V Simpósio de Segurança Alimentar**. São Bento, 2015.

BRASIL. Conselho Nacional do meio ambiente –CONAMA, resolução nº 430/11. Disponível em < <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 09. out. 2015.

BRUNO, Mariza. **Utilização de zeólitas sintetizadas a partir de cinzas de carvão na remoção de corante em água**. 2008. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) – Autarquia Associada À Unversidade de São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2008.

BORBA, Carlos Eduardo et. al. Estudo da cinética e do equilíbrio de adsorção dos corantes azul turquesa qq e amarelo reativo 3r em carvão ativado. **Engvista**, v. 14, n. 2, p.135-142, ago. 2012.

CALDEIRA, Mariana da S. **Produção de nanocompósito utilizando diferentes fontes de celulose como reforço**. 2013. 57 f. Dissertação (Mestrado em agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2013.

CARDOSO, Natalí. F. **Adsorção de corantes têxteis utilizando biossorventes alternativos**. 2012. 120f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

CARVALHO, Terezinha Elizabeth M. de et.al. Adsorção do corante reativo laranja 16 de soluções aquosas por zeólita sintética. **Química Nova**, v.33, n.2, p. 358-363, 2010.

CATANHO, Marciana et.al. Avaliação dos tratamentos eletroquímico e fotoeletroquímico na degradação de corantes têxteis. **Química Nova**, v. 29, n. 5, p. 983-989, 2006.

CHÁVEZ-PACHECO, Juan Luiz et.al. Celulosa Bacteriana en *Gluconacetobacter xylinum*: Biosíntesis y Aplicaciones. **Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas**, v. 7, n. 1, p. 18-25, jun. 2004.

CZAJA, Wojciech et.al. Microbial cellulose the natural power to heal wounds. **Biomaterials**, v.27, p.145- 151, jan. 2006.

DALL AGNOL, Ramon. **Biossorção do corante preto reativo 5 utilizando saccharomyces cerevisiae esgotada do processo fermentativo da produção de cerveja**. Trabalho de conclusão de curso- Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

DEBRASSI, Aline et.al. Adsorção do corante vermelho congo por derivados da o-carboximetilquitosana hidrofobicamente modificados. **Química Nova**, vol.34, nº.5, São Paulo, 2011.

DONINI, Ígor A. N. et. al. Biossíntese e recentes avanços na produção de Celulose Bacteriana. **Eclética Química**, São Paulo, v.35, n.4, 2010.

FREIRE, Renato S. et. al. Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. **Química Nova**, v. 23, n. 4, p.504-511, 2000.

GEADA, Oriana Maria R. N. D. **Remoção de corantes têxteis utilizando resíduos agrícolas da produção de milho**. 2006. 123 f. Dissertação (mestrado em Engenharia do Ambiente), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2006.

GONÇALVES, Priscilla dos S. **Biossorção de tolueno na presença da estirpe Rhodococcus opacus**. 2015. 120 f. Dissertação (Mestrado)- Departamento de Engenharia Química e de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2015.

GUARATINI, Cláudia C. I.; ZANONI, Maria Valnice B. Corantes Têxteis. **Química Nova**, v. 23, n. 1, p.71-78, 2000.

HONORATO, Andressa C. et.al., Biossorção de azul de metileno utilizando resíduos agroindustriais. **Agriambi**, v.19, n.7, p.705–710, 2015.

HONORIO, Jacqueline F. **Emprego da casca de soja como adsorvente na remoção de corantes reativos têxteis**. 2013. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2013.

HONORIO, J.F. et.al. Adsorção do corante reativo azul bf-5g em casca de soja: parâmetros de processo e isotermas. In: ENCONTRO BRASILEIRO SOBRE ADSORÇÃO- EBA, 10., 2014, Guarujá, **Anais...** 2014, p. 1-8.

KAMMRADT, Patrícia B. **Remoção de cor de efluentes de tinturarias industriais através de processo de oxidação avançada**. 2004. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

KIMURA, Irene Y. et.al. Efeito do pH e do Tempo de Contato na Adsorção de

Corantes Reativos por Microesferas de Quitosana. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, p. 51-57, jul./set.1999.

KLEMM, D. et.al. Cellulose: fascinating biopolymer and sustainable raw material. **Angew. Chem. Int. Ed. Engl.**, v. 44, p. 3358–3393, 2005.

KOROISHI, Érika T. et al. Determinação de isoterma de adsorção de corante têxtil em carvão ativo, serragem e algas marinhas arribadas. **Acta Scientiarum. Technology**. Maringá, v. 22, n. 4, p. 1185-1188, 2000.

KUNZ, Airton. et. al. Novas Tendências no Tratamento de Efluentes Têxteis. **Química Nova**, v. 25, n. 1, p. 78-82, jan./fev. 2002.

LEICHTWEIS, Wilian A. Levantamento dos Dados Cinéticos de Adsorção do Corante Amarelo Reativo BF 3R Utilizando Pseudocaule de Bananeira (musa sp). In: III Encontro Paranaense de Engenharia e Ciência – 10., 2013, Toledo, **Anais...** 2013.

MACHADO, Rachel Temperani A. et.al. **Preparação e caracterização térmica de membranas de biocelulose obtidas pela biossíntese da bactéria Komagataeibacter rhaeticus**. IX Congresso Brasileiro de Análise Térmica e Calorimetria . Serra Negra – SP, 2014.

MATOS, T. T. S et.al. Aplicação de Subprodutos Industriais na Remoção de Corantes Reativos Têxteis. **Revista Virtual Química**., v. 5, n. 5, p. 840-852, ago. 2013.

OLIVEIRA, Clélia Aparecida da S. **Tratamento de corante têxtil por eletrólise, fotólise e fotocatalise utilizando led uv**. 2013. 69 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Inovação) - Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2013.

PIETROBELLI, Juliana M. T. de A. **Remoção dos íons Cádmio, Cobre e Zinco utilizando Macrófita Egeria Densa**. 2012. 125 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

RAVEN, Peter H.; EVERT, Ray. F.; EICHHORN, Susan. E. **Biologia Vegetal**. 6 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

RECOUVREUX, Derce de O. S. **Desenvolvimento de Novos Biomateriais Baseados em Celulose Bacteriana para Aplicações Biomédicas e de Engenharia de Tecidos**. 2008. 145f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

RODRIGUES FILHO, Geraldo M. **Adsorção do corante amarelo reativo BF-4G 200% por argila esmectita**. 2012. 177 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

ROYER, Betina. **Remoção de corante têxteis utilizando casca de semente de Araucária angustifolia como bioissorvente**. 2008. 68f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

SÁ, Fernando P. de. **Adsorção e Fotodegradação de Corantes, Amarelo Crepúsculo e Azul Brilhante, para Tratamento de Efluentes de Indústrias Alimentícias**. 2013. 109f. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química, Universidade de Goiás, Goiânia, 2013.

SANTOS, Marcelo C. dos. **Biossorção de cobre (II) e cálcio (II) pela biomassa da macroalga marrom Sargassum filipendula**. 2013. 109f. Tese (Mestrado em Engenharia Química) – Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

SILVA FILHO, Edson C. et.al. Sorção do corante reativo amarelo brilhante em matérias celulósicos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 65., 2013, Recife. **Anais...** 2013, p.1.

SILVA, Marcos P. da. **Paligorsquita natural aplicada na remoção do corante amarelo remazol gr e do metal Pb²⁺**. 2013 . Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) - Universidade Federal do Piauí, 2013.

SILVA, Renata L. L. da. **Remoção de cor de efluente sintético com cogumelos Agaricus bipora**. 2008. 95f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.

SUZAKI, Pedro Y. R. **Estudo do processo de biossorção do corante preto reativo 5 utilizando a macrófita limnobium spongia**. 2013. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2013.

ZANUTTO, Adriane. DA SILVA, Bruna Cassia. **Avaliação do bagaço de malte como bioissorvente do corante Amarelo Reafix B2R**. 2016. 84 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Química - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2016.

WONG, T. Y. Effects of calcium on sugar transport in *Azotobacter vinelandii*. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 59, p. 89-92, jan.1993.

APÊNDICE C - Estudo de custo do processo fermentativo para produção de Celulose Bacteriana

Fórmula: 1 L do Caldo Alaban, numa área de 3,13 m²

Unidade produzida: 0,007Kg de Celulose Bacteriana (base seca) em 168 horas.

Formulação	Unidade	Quantidade Teórica (Kg)	Preço por Kg (R\$)	Valor Total	Valor p/unidade (R\$)
Sacarose	Kg	0,100	2,98	0,298	0,0021
Fosfato ácido de potássio	Kg	0,005	61,54	0,307	0,0022
Extrato de levedura	Kg	0,025	603,38	15,084	0,1056
Sulfato de magnésio heptahidratado	Kg	0,002	18,46	0,036	0,0002
Sulfato de amônio	Kg	0,006	15,39	0,092	0,0006
Custo de fabricação por unidade					0,1107
Custo de energia	Autoclavação (121°C por 30min)				0,7459
	Incubação - Temperatura ambiente (20 a 35°)				0,0000
Total					0,967

Cálculo:

Valor Total = Quantidade teórica (Kg) x preço por kg do produto da formulação

Valor por unidade produzida = $\frac{\text{Quantidade da unidade produzida (Kg)} \times \text{Valor total}}{1 \text{ L da formulação}}$

Consumo energético (CE) = (Σ Potência do equipamento X horas de funcionamento)

Custo de energia = (Potência do equipamento x horas de funcionamento x custo da energia elétrica no PR)

Custo de energia = 4 kW x 0,25h x 0,74592 R\$ kWh⁻¹

Custo de energia (R\$) = 0,74592