

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA**  
**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**  
**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ISVILAINE DA SILVA CONCEIÇÃO**

**PROPOSTA DE USO DE CASCA DE BANANA COMO  
BIOSSORVENTE PARA REMOÇÃO DE CORANTES DE EFLUENTES  
DA INDÚSTRIA TÊXTIL**

**VOLTA REDONDA/RJ**

**2018**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA**  
**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**  
**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PROPOSTA DE USO DE CASCA DE BANANA COMO**  
**BIOSSORVENTE PARA REMOÇÃO DE CORANTES DE EFLUENTES**  
**DA INDÚSTRIA TÊXTIL**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Ambiental apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheira Ambiental.

Prof. Dra: Izabel de Oliveira da Mota

Aluna: Isvilaine da Silva Conceição

**VOLTA REDONDA/RJ**

**2018**

Eu dedico esse trabalho à minha  
mãe.

## AGRADECIMENTOS

Eu agradeço a Deus por me dar forças para continuar e não desistir de tudo.

A minha mãe, por me apoiar nos momentos difíceis.

Aos meus amigos, por deixarem essa fase de faculdade um pouco mais leve.

A minha orientadora, Izabel por sempre estar comigo.



Fundação Oswaldo Aranha



Anexo 10  
FOLHA DE APROVAÇÃO

Curso: Engenharia Ambiental

Trabalho de Conclusão de Curso intitulado:

“PROPOSTA DE USO DE CASCA DE BANANA COMO BIODSORVENTE PARA REMOÇÃO DE CORANTES DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA TÊXTIL”

Elaborado por:

Acadêmica (s)

Isvilaine da Silva Conceição

Matrícula (s)

201410807

Apresentado publicamente perante a Banca Avaliadora, como parte dos requisitos para conclusão do Curso de Engenharia Ambiental.

Aprovada em 13 de NOVEMBRO de 2018

Banca Examinadora:

Professora Orientadora: Izabel de Oliveira Mota, Doutora / UniFOA

Professora Avaliadora: Ana Carolina Callegario Pereira, Pós-Doutora / UniFOA

Professor Avaliador: Bruno Chaboli Gambarato, Doutor / UniFOA

## RESUMO

O meio ambiente tem sofrido enormes riscos causados pela contaminação dos recursos hídricos devido, principalmente, à crescente urbanização e à industrialização. A indústria têxtil, que representa um importante setor da economia brasileira, experimentou considerável crescimento nos últimos anos e, proporcionalmente houve um aumento da geração de efluentes potencialmente tóxicos e coloridos. Por isso, técnicas capazes de eliminar parcialmente ou totalmente a toxicidade desse tipo de efluente têm sido estudadas e, dentro dessa realidade, a bioissorção tem se destacado, devido principalmente à sua eficácia. Sabe-se que o Brasil se destaca como um dos maiores produtores e consumidores mundiais de banana, sendo assim o objetivo do presente trabalho é avaliar a eficiência da casca da banana como bioissorvente no tratamento de efluentes da indústria têxtil. Para o preparo do bioissorvente, cascas de banana prata foram desidratadas em estufa, moídas e separadas com o auxílio de peneiras granulométricas. Após metalização de algumas amostras, a caracterização morfológica foi realizada por meio de imagens de microscopia de varredura eletrônica (MEV). Nesses ensaios, foi possível verificar uma superfície rugosa com grande área superficial. O ponto de carga zero (pH PCZ), que indica o valor do pH em que a superfície do material é neutra, também foi determinado. O valor encontrado foi de 4,72, de modo que a adsorção foi favorecida visto que o pH da solução era 7,1. Os ensaios de adsorção mostraram que a casca de banana foi efetiva na redução de azul de metileno nas amostras, sendo possível alcançar 98% de remoção do corante em 2 horas de bioissorção, a partir de concentração inicial de 50 mg/L.

Palavras-chave: adsorção, azul de metileno, recursos hídricos.

## LISTA DE TABELA

Tabela 1: Distribuição Granulométrica da casca de banana seca e moída.....	34
--	----

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura de alguns corantes catiônicos .....	16
Figura 2: Banana prata (Musa Sapientum) .....	27
Figura 3 Moinho de Facas .....	29
Figura 4 Peneiras no equipamento de vibração .....	30
Figura 5 Ensaio de pHzpc.....	31
Figura 6 Ensaio no MEV .....	32
Figura 7: pHzpc do biosorvente .....	35
Figura 8: MEV do biosorvente.....	36
Figura 9: Curva padrão para azul de metileno.....	37
Figura 10: Eficiência de remoção.....	38
Figura 11: Ensaio de Biossorção .....	39

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1 JUSTIFICATIVA.....	11
1.2 PROBLEMA.....	11
1.3 OBJETIVOS.....	11
1.3.1 Objetivo Geral.....	11
1.3.2 Objetivos Específicos.....	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 Indústria Têxtil.....	13
2.2 Processo de Tingimento.....	13
2.3 Os Corantes.....	14
2.3.1 Corantes Reativos.....	15
2.3.2 Corantes Azóicos ou “Azo”.....	15
2.3.3 Corantes Aniônicos.....	15
2.3.4 Corantes Catiônicos.....	16
2.3.5 Corantes Diretos.....	17
2.3.6 Corantes “Vat” ou Índigo.....	17
2.3.7 Corantes Dispersos.....	17
2.3.8 Corantes ao Enxofre.....	17
2.3.9 Corantes Pré- Metalizados.....	17
2.3.10 Corantes à Cuba.....	18
2.3.11 Corantes Branqueadores.....	18
2.4 Consumo de Água Pela Indústria Têxtil.....	19
2.5 Corantes e a Poluição.....	19
2.6 Toxicidade do Efluente Têxtil.....	20
2.7 Metais Pesados e o Efluente Têxtil.....	21

2.8 Tratamentos tradicionais de efluentes .....	21
2.8.1 Métodos Biológicos .....	21
2.8.2 Métodos Químicos .....	22
2.8.3 Métodos Físicos .....	23
2.9 Técnicas Alternativas .....	23
2.9.1 Adsorção .....	24
2.9.2 Biossorção .....	26
2.10 Casca da Banana .....	27
3. METODOLOGIA .....	29
3.1 Preparo do Biossorvente .....	29
3.2 Caracterização do biossorvente .....	30
3.2.1 Análise granulométrica .....	30
3.2.2 Determinação do ponto de carga zero (pHzpc) .....	31
3.2.3 Caracterização Morfológica por MEV .....	32
3.3 Avaliação do Biossorvente .....	32
3.3.1 Preparo da Solução Padrão .....	33
3.3.2 Ensaio de biossorção .....	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	34
4.1 Do preparo do Biossorvente .....	34
4.2 Análise Granulométrica .....	34
4.3 Ponto de Carga Zero .....	35
4.4 Microscopia de Varredura Eletrônica (MEV) .....	36
4.5 Curva padrão .....	37
4.6 Resultado dos ensaios de biossorção .....	38
5. CONCLUSÃO .....	40
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	41

## 1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que, devido à globalização, o crescimento populacional e a modernização das indústrias, o meio ambiente vem sofrendo diversos tipos de contaminações e um tipo de indústria que colabora com essa contaminação e que é alvo de estudo neste trabalho de conclusão de curso é a indústria têxtil, onde seus resíduos derivados potencialmente tóxicos afetam drasticamente os recursos hídricos e a saúde da população onde são lançados.

A indústria têxtil representa um setor econômico muito importante para o país e para o mundo. Isso ocorre devido à lei da oferta e da procura, tendo em vista que a população aumentou, a produção de vestimentas teve que se manter proporcional e como consequência, a contaminação dos recursos hídricos também aumentou.

Devido aos efeitos tóxicos que podem causar se entrar em contato com o meio ambiente aquático, o tratamento prévio desse efluente faz-se necessário antes do despejo na água. Por isso, busca-se por novas tecnologias para que sejam minimizados os danos desse efluente na natureza.

A adsorção, por se tratar de uma técnica de fácil operação, tem sido vastamente utilizada. Esta técnica se baseia na remoção dos contaminantes pelo contato entre o corante (adsorvato) e o material adsorvente (GONÇALVES *et al.*, 2007).

Um dos materiais biossorventes que tem grande capacidade adsorvente e é vastamente utilizado é o carvão ativado, por suas propriedades únicas, como a porosidade e elevada área de superfície. Mas apresenta como grande desvantagem um alto custo em sua produção (AJMAL *et al.*, 2000; ASADULLAH *et al.*, 2010).

Um aspecto relevante da adsorção é a possibilidade de utilização de biomassa (viva ou morta) com o objetivo de diminuir o custo do processo, ponderando que biomassa é toda matéria orgânica de origem vegetal, animal ou microbiana.

Segundo Silva *et al* (2013), o Brasil, é um dos maiores produtores e consumidores de banana, tendo uma produção por volta de seis milhões de toneladas por ano. É a segunda fruta que se destaca por quantidade, valor e consumo. Em outra mão, é um dos países que também sofre com o grande índice de desperdício e alta produção de resíduos sólidos, principalmente no que diz respeito a casca.

Como a literatura mostra que biosorventes estão sendo cada vez mais utilizados na técnica de adsorção, o presente trabalho de conclusão de curso (TCC) usou a casca da banana como adsorvente para remoção de poluentes de efluentes da indústria têxtil. Nesse contexto o TCC visa dar outro destino ao resíduo para tratamento de efluentes e avaliar seu potencial de adsorção.

## **1.1 JUSTIFICATIVA**

O presente estudo justifica-se na avaliação de técnicas alternativas utilizando a biomassa como matéria prima para fazer a remediação do efluente proveniente da indústria têxtil com um baixo custo operacional e alta adsorção.

## **1.2 PROBLEMA**

Tendo em vista que, os processos de tingimento de tecidos causam um grande impacto aos corpos hídricos, esse trabalho de conclusão de curso busca a resposta para duas perguntas: o quanto a casca de banana é eficiente para remoção desses corantes e o quão viável é investir nesse tipo de tratamento.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo Geral**

Sabe-se que o Brasil se destaca como um dos maiores produtores e consumidores mundiais de banana, o projeto tem como objetivo avaliar a eficiência da casca da banana como biossorvente no tratamento de efluentes sintéticos da indústria têxtil.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Preparar o biossorvente.

- Caracterizar morfologicamente a casca de banana.
- Determinar o ponto de carga zero.
- Realizar ensaios de Biossorção.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Indústria Têxtil**

A indústria têxtil é uma das maiores produtoras do mundo quando se trata de produção e mão de obra. A facilidade que se encontra no setor de produção é enorme, indo desde indústrias com a parte de processamento totalmente automatizado até mesmo as pequenas instalações artesanais, porém, apesar de toda a facilidade, qualquer setor têxtil tem um consumo grande quando se trata de quantidade de água, corantes e produtos químicos usados ao longo da cadeia produtiva (SANIN, 1997).

### **2.2 Processo de Tingimento**

De acordo com Twardokus (2004), é no processo de tingimento que são adicionados corantes à matéria prima têxtil e o que determina o sucesso comercial dessa etapa é tanto o processo quanto a qualidade do produto tingido. Manter a cor padronizada, a solidez em relação à luz, à lavagem e à transpiração, do começo e ao longo do tempo de utilização do produto são características básicas exigidas pelo mercado consumidor, e para que isso ocorra deve haver uma alta afinidade entre a fibra que será colorida e o corante.

Segundo Guaratini & Zanoni (2000) no mercado há uma grande procura por corantes sintéticos, cerca de milhões de corantes têm sido utilizado nos últimos 100 anos, dos quais cerca de 10.000 são produzidos em escala industrial. Porém, calcula-se que cerca de 2.000 tipos de corantes estão disponíveis para a indústria têxtil. A quantidade de corantes é justificada pelo número de fibras existentes, pela especificidade de cada fibra ao ser colorida requer, e também pelo fato de que as novas demandas requerem corantes com uma grande capacidade de absorção pela fibra.

Esse processo causa uma transformação físico-química do substrato para que a luz refletida provoque uma percepção de cor. O que causa essas modificações

químicas no substrato são os corantes, que são compostos orgânicos que têm a capacidade de colorir matérias têxteis ou não têxteis, de forma que a cor seja relativamente resistente (sólida) à luz e a tratamentos úmidos. Os corantes são solúveis ou dispersos no meio de aplicação (água). No tingimento, os corantes são adsorvidos e se difundem para o interior da fibra (TWARDOKUS, 2004).

### 2.3 Os Corantes

Os corantes são considerados produtos químicos que normalmente são aplicados em soluções, onde, de alguma forma se fixam em um substrato. Atualmente, os tipos de corantes e pigmentos comerciais mais utilizados são de origem sintética, tendo só como exceção alguns pigmentos de origem orgânica (CARREIRA, 2006).

Segundo Kunz *et al.* 2002, existem aproximadamente 10.000 diferentes corantes e pigmentos que são utilizados nas indústrias, o que representa um consumo anual de cerca de  $7 \times 10^5$  toneladas no mundo e 26.500 toneladas somente no Brasil.

Levando em conta que todos esses produtos são compostos complexos, é quase impossível na maioria das vezes definir uma fórmula química para eles. Por conta disso, raramente usa-se uma nomenclatura química para esses produtos, sendo mais comum a utilização dos nomes comerciais (HASSEMER, 2006).

A variedade dos corantes utilizados nas operações do setor têxtil possui características químicas diferentes. O processo de fixação de cada corante é definido pelo grupo funcional, estrutura do corante e das propriedades físico-químico da fibra que receberá o corante. Em uma simples operação de tingimento são usados diversos tipos de corantes de variadas classes, o que acaba gerando uma água residual com uma complexidade e variedade enorme (HASSEMER, 2006).

Em todo processo de tingimento, os corantes que não são totalmente usados e/ou os que não são fixados nas fibras, que acabam sendo removidos pelas lavagens pós tingimento, contribuirão permanentemente para a cor final do efluente. Dependendo do processo e do corante usado, a sua concentração pode ir de 10 a 25 mg/L (RAMOS, 2002).

### **2.3.1 Corantes Reativos**

São chamados de reativos os corantes que formam ligações covalentes com a fibra têxtil. São principalmente usados no tingimento e estamparia de fibras como o algodão, viscose, linho, lã e seda. São os mais buscados no setor têxtil devido à sua fácil absorção, porém têm como prejuízo a reação de tingimento com o substrato têxtil, e também a reação do corante com a água, que é o foco desse estudo. Sua taxa de fixação varia de 60 a 90%, sendo assim, uma grande parte da concentração não fixada na fibra e, portanto, presente nos despejos do efluente (MARTINS, 1997; KUNZ *et al.*, 2002).

Os métodos usuais de tratamento de efluentes não são capazes de remover este tipo de corante de forma satisfatória e os corpos d'água sofrem com estes corantes, pois além da poluição, alteração visual e no ciclo biológico, afetam o processo de fotossíntese (HASSEMER, 2006).

### **2.3.2 Corantes Azóicos ou “Azo”**

São compostos que apresentam o grupo azo em sua composição. Os naftóis, corantes mais comuns que possuem a ligação azo, são usados em cores vermelhas, amarelas e laranjas. São utilizados em fibras celulósicas e tem um elevado grau de dificuldade para ser removido durante o tratamento do efluente (HASSEMER, 2006).

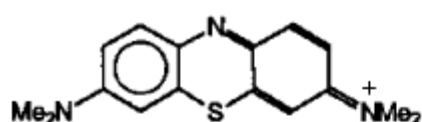
### **2.3.3 Corantes Aniônicos**

Tem em suas moléculas um ou mais grupos de ácido sulfônico ou outros grupos de ácidos. Corantes do tipo ácido contribuem com a diminuição do pH do efluente, tendo valores variando entre 3,5 e 6,0. São corantes do tipo aniônicos solúveis na água, são aplicados em fibras nitrogenadas, como por exemplo a lã (HASSEMER, 2006).

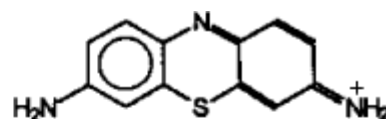
### 2.3.4 Corantes Catiônicos

Inicialmente os corantes catiônicos (figura 1) eram utilizados principalmente no tingimento de algodão, couro e papel, porém foram descobertas em outros segmentos industriais sua aplicação.

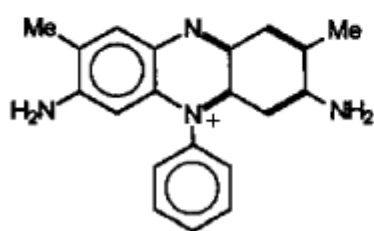
O corante catiônico que tem uma aplicação bastante utilizada no segmento industrial é o azul de metileno (AM), classificado como um corante do tipo básico, possuindo estrutura molecular aromática heterocíclica, com fórmula química  $C_{16}H_{18}N_3SCl$  e massa molar de 319,8 g/mol. Conforme citado por Oliveira (2012), é considerado o corante mais utilizado em testes de adsorção.



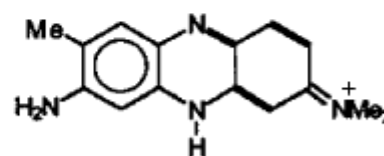
AZUL DE METILENO



TIONINA



SAFRANINA



VERMELHO NEUTRO

Figura 1: Estrutura de alguns corantes catiônicos

Fonte: NEUMANN M. G *et al.*, (2000)

### **2.3.5 Corantes Diretos**

De acordo com Hassemer (2006) grande parte dos seguintes corantes são das classes di, tri e poli azo, são usados em fibras celulósicas.

### **2.3.6 Corantes “Vat” ou Índigo**

Dos corantes existentes, o Índigo é o mais antigos, é obtido de molusco encontrado nas pedras do Mar Mediterrâneo. Sua principal característica é a presença do grupo cetona ou carbonil. É aplicado em fibras celulósicas.

### **2.3.7 Corantes Dispersos**

Por serem pigmentos, este tipo de produto acaba se tornando insolúvel. São comumente usados para tingir o poliéster, nylon e acrílico.

### **2.3.8 Corantes de Enxofre**

Este tipo de corante é geralmente usado para se obter a coloração preta e é utilizado em fibras celulósicas. É derivado de ácido tiosulfônico, exalam um odor desagradável e tem uma difícil remoção no meio aquoso.

### **2.3.9 Corantes Pré- Metalizados**

Esse corante tem presença de um grupo de hidroxila ou carboxila na posição “orto” em relação ao cromóforo azo, o que permite a formação de complexos com íons metálicos. Geralmente são usados em tintura de fibras proteicas e poliamida. A

desvantagem para o meio ambiente é que esse tipo de corante apresenta um alto nível de metal cromo, nas águas de rejeito.

### **2.3.10 Corantes à Cuba**

É uma importante classe de corantes baseada nos índigos, tiotioindigóides e antraquinóides. É um tipo de corante praticamente insolúvel em água, porém durante o processo de tintura ele é reduzido com ditonito, em solução alcalina, transformando-se então em um composto solúvel. A maior parte da sua aplicação é em tintura de algodão. Apesar de ser uma classe grande de corante, ele apresenta alguns problemas ao meio ambiente devido a sua produção química de hidrossulfito.

### **2.3.11 Corantes Branqueadores**

Este tipo de corante apresenta grupo carboxílico, azometino ou etilênico aliados a sistemas benzênicos, naftalênicos, pirênicos e anéis aromáticos que proporcionais reflexão por fluorescência na região de 430 a 440 nm quando excitados por luz ultravioleta (GUARATINI e ZANONI, 2000).

É um tipo de corante que contém metais pesados em sua composição entre outras substâncias altamente tóxicas (MARTINS, 1997).

Por conta dos fatores técnicos, econômicos e exigência dos consumidores, cada vez mais se pede o uso de corantes com elevado nível de estabilidade química, solidez à luz, à lavagem, ao ensaboamento, entre outros. Por isso, a resistência cada vez maior dos corantes, dificulta a sua degradação e remoção dos efluentes têxteis (RAMOS, 2002).

## 2.4 Consumo de Água Pela Indústria Têxtil

Para o consumo industrial, o setor têxtil consome cerca de 15% da água. O potencial da indústria têxtil para poluição é considerado médio, em sua totalidade, sendo que a parte de tingimento que é a tinturaria e a fase de acabamento são as etapas mais contaminantes (TOLEDO, 2014).

## 2.5 Corantes e a Poluição

Segundo Hassemer (2006), a água e o ar são parâmetros ambientais conectados ao processamento químico têxtil devido a seu elevado consumo de água, que o coloca no topo das atividades poluidoras. Tem-se, logo de imediato, dois fatores que mostram o quanto é poluente uma indústria têxtil: seu volume de água residual gerado e a complexa composição orgânica dos seus efluentes.

A caracterização típica dos efluentes pode ser descrita pelas vazões e cargas de poluição variáveis, diferenças de coloração, pH e temperatura, junto com os elevados valores de DQO e baixa DBO, alguns sais inorgânicos, compostos orgânicos e até mesmo metais pesados.

Na parte do tingimento e na estamparia, é gerado efluente residual fortemente colorido e com contaminação orgânica elevada, por conta dos produtos auxiliares que são eliminados em grande percentagem nos banhos de esgotamento, e na lavagem de pastas de estampagem excedentes. Nas operações de pré-tratamento e nos processos de acabamento químico têxtil, também estão implícitos a emissão de águas residuais com importante contaminação de composto orgânicos sintéticos.

A média de DQO de carga poluente de efluentes têxteis é de 1700 mg O<sub>2</sub>.L<sup>-2</sup>. Os agentes de engomagem, tensoativos, auxiliares de tingimento e ácidos orgânicos perfazem cerca de 89% sobre a DQO total.

A cor, presença de tensoativos, compostos organohalogenados adsorvíveis em carvão ativado, e de substâncias orgânicas persistentes e tóxicas, formam a poluição orgânica das águas residuais têxteis.

É importante fazer a identificação dos contaminantes orgânicos em efluentes têxteis para que se possa realizar a caracterização do efluente bruto e na monitoração de sistemas de tratamento e controle de qualidade para descarga ou recirculação de águas residuais, e também para que se possa realizar investigação e desenvolvimento de processos de despoluição.

De acordo com a CONAMA, para águas doces de classe 1, no artigo 49 são estabelecidos limites e/ou condições de lançamento. E a condição para o lançamento do corante em um corpo hídrico é de, corantes artificiais: virtualmente ausentes; ou seja, ser lançado sem a cor.

## **2.6 Toxicidade do Efluente Têxtil**

Dentro dos impactos ambientais, a toxidez provida dos resíduos têxteis é uma das questões mais importantes, tanto para os órgãos ambientais quanto para a própria sociedade. Esta toxicidade tem um foco maior quando se utilizam corantes baseados em metais pesados, enxofre e grupamentos azóicos, e também de outros compostos não biodegradáveis (HASSEMER, 2006).

Dentre os corantes existentes no mercado, os que mais apresentam toxicidade são os do grupo azo, por ter potencial carcinogênico e mutagênico devido a formação de aminas aromáticas (PINHEIRO *et al.*, 2004).

Entretanto, a exposição aguda a corantes catiônicos, como a azul de metileno, pode causar efeitos prejudiciais à saúde como aumento do batimento cardíaco, dor de cabeça intensa, náuseas, vômitos, diarreia e necroses de tecidos humanos (PINHEIRO *et al.*, 2004).

Vários tipos de estudos vêm sendo realizados e desenvolvidos com a intenção de revolucionar as técnicas para diminuir a quantidade e a toxicidade dos efluentes industriais, sendo capaz, também, de realizar sua completa mineralização.

A toxicidade ligada aos efluentes industriais pode ser relacionada com a presença de compostos recalcitrantes, que no caso são compostos que não são biodegradados pelos organismos normalmente presentes em sistemas biológicos de

tratamento, nos usuais tempos de retenção hidráulica aplicados sendo, assim, lançados nos corpos aquáticos receptores (ALMEIDA *et al.*, 2004).

Por conta do efeito de acumulação, a concentração pode ser letal à invertebrados e peixes, visto que pode-se elevar em até 21 vezes o nível permitido para esses organismos, provocando então a morte ou efeitos cancerígenos e mutagênicos que eventualmente podem ser observados em seres humanos como resultado da bioacumulação ao longo da cadeia alimentar (ALMEIDA *et al.*, 2004).

## **2.7 Metais Pesados e o Efluente Têxtil**

Pode-se atribuir a presença de metais pesados em efluentes têxteis aos produtos auxiliares envolvidos no processo de tingimento ou acabamento. Deve-se levar em conta que a matéria-prima como fibras, fios e tecidos, pode conter resíduos de metais. No caso dos corantes, existe uma classificação à parte, que é a de corantes metalizados e não metalizados. No processo biológico, os metais pesados podem bloquear a ação dos microrganismos e interferir diretamente no desempenho do processo. Nos processos aeróbios, até certo limite de toxicidade, os microrganismos apresentam uma boa capacidade de adsorção de metais (HASSEMER, 2006).

## **2.8 Tratamentos tradicionais de efluentes**

Podem dividir os tipos de tratamentos tradicionais de efluentes em: biológico, químico e físico, onde todos possuem suas vantagens e desvantagens. Porém devido ao custo, os métodos convencionais quase não são aplicados em larga escala da indústria têxtil. Na prática, é utilizada uma combinação de diferentes métodos para alcançar a qualidade da água desejada (IMMICH, 2006).

### **2.8.1 Métodos Biológicos**

Os métodos biológicos são baseados na utilização de microorganismos, os quais proliferam na presença dos resíduos, usados como fonte de carbono e nitrogênio. No Brasil, esse método é utilizado desde 1910. Dentre os processos biológicos, destaca-se a oxidação biológica aeróbia (ex: sistemas de lodos ativados, filtros biológicos, valos de oxidação e lagoas de estabilização), anaeróbia (reatores anaeróbios de fluxo ascendente) e mista (digestão do lodo e fossas sépticas). Dentre todas as alternativas, o que ganha destaque é o sistema de lodos ativados, em relação a sua elevada capacidade para remoção de DBO em tempos relativamente pequenos e alta eficiência (VULCZACK, 2005).

A utilização de lodo reduz em 10% da cor presente no efluente após o início do tratamento, quando se trata de efluente têxtil. Observou-se que o tratamento aeróbio não é eficiente para remover a cor do efluente. Com seu estudo observou que a eficiência de remoção do corante chega a ser cerca de 10% a 30% (VULCZACK, 2005).

No entanto, os métodos biológicos são restritos. Pelo fato de ser limitado pela sensibilidade das variações diurnas, bem como pela toxicidade de alguns produtos químicos (IMMICH, 2006).

### **2.8.2 Métodos Químicos**

Em processo de tratamentos de despejos, o método químico pode ser utilizado para remover material de espécie coloidal, cor e turbidez, odor, ácidos, álcalis, metais pesados e óleos. Os reagentes químicos são usados para neutralizar ácidos e álcalis. Quando se trata de tratamento de efluentes têxteis, os processos químicos são definidos pela reação do corante com certas substâncias que o convertam em outras substâncias menos prejudiciais ao meio ambiente. Dos diversos tipos de processos químicos existentes, destacam-se: oxidação (ozônio, cloro, fotoquímica), processo eletroquímico, coagulação eletrocinética, flotação e sedimentação. Assim como as outras, esse processo é, em grande parte, caro, embora o corante seja removido, a acumulação de lodos concentrados cria um problema relacionado ao tratamento de resíduos, pois também tem a possibilidade de gerar uma poluição secundária, por conta do excessivo uso de produtos químicos (IMMICH, 2006).

### **2.8.3 Métodos Físicos**

Os tratamentos físicos procuram a remoção do corante pela retenção do mesmo em algum meio adsorvente. De modo geral, os principais processos físicos são representados por filtração por membrana (nanofiltração, osmose reversa, eletrodialise), troca iônica e técnica de adsorção (OLIVEIRA, 2007).

### **2.9 Técnicas Alternativas**

A adsorção é uma das técnicas alternativas mais adequadas por ser tratar de um processo simples e de fácil operação. A remoção dos corantes é o resultado de dois mecanismos, a própria adsorção e a troca iônica, e é influenciada por fatores físico-químicos. A primeira análise que deve ser feita para obter-se um processo de adsorção eficiente é a escolha de um adsorvente com alta seletividade, capacidade e longa vida. Deve-se destacar a disponibilidade em grandes quantidades a um baixo custo (IMMICH, 2006).

O carvão ativado, por exemplo, é um adsorvente que tem alta capacidade de adsorção e elevada eficiência de remoção. Tal capacidade é associada à estrutura dos poros, o que proporciona ao adsorvente uma grande área superficial, e também por conta da natureza química, permitindo que sua superfície seja facilmente modificada por tratamento químico para melhorar suas propriedades. Porém, apesar de ser um dos adsorventes mais utilizados, o carvão ativado possui um alto custo e baixa eficiência com corantes dispersos e a cuba. Atualmente, por conta dos contras encontrados na utilização do carvão ativado, as pesquisas ganharam mais força na parte de produção de adsorventes alternativos para substituir o carvão ativado (OLIVEIRA, 2007).

O custo se torna uma importante questão quando se trata da comparação dos materiais adsorventes, por exemplo, um adsorvente é considerado de baixo custo se o mesmo requer pouco processamento, é abundante na natureza ou é um subproduto ou um resíduo de outra indústria. Diversos estudos relatam o uso de casca de árvore, pó de casca de nozes, terra vermelha, bauxita e outros, como adsorvente para

remoção de corantes ácidos, básicos, dispersos e diretos. O uso de subprodutos como espiga de milho, argila, quitina, resíduos de agricultura, fibra de coco, pó da folha de Neem, bagaço de cana-de-açúcar, betonita e betonita modificada, para remoção de cor, tem sido um interessante tópico. Todos materiais citados são economicamente atrativos para remoção de cor em comparação ao carvão ativado, por conta da sua abundância e baixo custo, não têm necessidade de regeneração e ao mesmo tempo têm um alto potencial de remoção de cor (IMMICH, 2006).

### **2.9.1 Adsorção**

Pode-se definir a adsorção pela transferência física de um determinado soluto, em um gás ou em um líquido, para uma superfície sólida, onde o mesmo fica retido devido às interações que podem ser físicas ou químicas. O soluto que for adsorvido não se dissolve no sólido, porém permanece em sua superfície ou em seus poros (FOUST *et al.*, 2012).

A adsorção física é um processo que pode ser reversível que ocorre em temperatura ambiente e que pode ter a deposição de mais de uma camada na superfície do adsorvente. Quando se trata da adsorção química, ela ao contrário da física é irreversível. Nesse processo ocorre a formação de uma ligação química, que se dá pela troca ou compartilhamento de elétrons entre o adsorvente e o adsorvato. O adsorvato é distribuído em monocamadas sobre a superfície do adsorvente (DABROWSKI, 2001).

Dentre as principais características dos processos de sorção física encontram-se: Forças físicas de atração fracas (forças de Van der Waals), formação de multicamadas ou monocamadas, sem dissociação da espécie retida, não específica, energia de ativação não envolvida, rápida, reversível, importante a temperaturas mais baixas, eficiência do processo depende mais da natureza do sorvato que do material adsorvente, baixo calor de sorção. Enquanto no processo de sorção química tem-se: forças químicas ou ligações, formação de monocamadas, pode haver dissociação da espécie retida, pode envolver energia de ativação, pode ser lenta e irreversível, ocorre mesmo a temperaturas elevadas e a eficiência do processo depende tanto da

natureza do sorvato quanto do material sorvente, envolvendo elevado calor de sorção (OLIVEIRA, 2007).

Os estudos realizados sobre adsorção vêm se desenvolvendo em grande escala, quando se trata do tratamento de efluentes corados por conta de corantes de indústrias têxteis devido à facilidade de manuseamento (GONÇALVES *et al.*, 2007). Este é um processo amplamente usado para fins de separação e purificação, tendo como uma importante aplicação a remoção de cor e poluentes orgânicos de efluentes industriais (QODAH, 2000).

Grande parte dos adsorventes sólidos que são usados para aplicações industriais possuem estrutura porosa complexa com poros de vários tamanhos e com certa proximidade a certo composto (SILVEIRA *et al.*, 2006).

Devido aos poros presentes nas estruturas as dimensões das moléculas que podem ser retidas encontram uma certa limitação, outra observação realizada é que o tamanho dos poros que levam a uma maior capacidade de sorção se correlaciona às dimensões das moléculas da espécie de interesse, sendo assim, a sorção de pequenas moléculas relaciona-se aos microporos, enquanto a sorção de moléculas de maior dimensão está relacionada mais diretamente aos meso e macroporos. Outra característica notada nos processos de sorção é a área superficial disponível do material sólido, que limita a quantidade de espécie a ser retido nele, desde que haja algum tipo de bloqueio causado pelo tamanho da espécie, logo nota-se que de maneira geral, quanto maior a área da superfície maior será a eficiência da adsorção e, por conta disso, são usados sorventes sólidos com estrutura porosa que tem como missão o aumento do processo (SOARES, 1998; CAMPOS, 1996).

Como já dito, dentro dos materiais adsorventes com um grande percentual adsortivo está o carvão ativado, devido às suas propriedades únicas, tendo como exemplo a sua estrutura porosa e elevada área de superfície. Em contrapartida, o mesmo apresenta uma desvantagem devido ao seu alto custo em sua produção (AJMAL *et al.*, 2000; ASADULLAH *et al.*, 2010). Além da dificuldade na parte de regeneração e necessidade de disposição ou incineração acarretam a oneração do processo (CRINI, 2008).

Sendo assim, nota-se uma necessidade de pesquisas para utilização de novos materiais adsorventes como materiais biológicos e subprodutos/resíduos agrícolas visando à substituição do carvão ativado (OZSOY & KUMBUR, 2006).

### 2.9.2 Bioissorção

O termo “sorção” é utilizado para descrever o momento onde ocorre, simultaneamente, o processo de absorção e adsorção. Segundo GADD (2009), o processo de absorção é a incorporação entre duas substâncias de estados físicos diferentes, também é a adesão física ou ligação de íons e moléculas na superfície de um sólido. Enquanto a bioissorção é uma subcategoria de adsorção, onde a matriz biológica é o adsorvente (MICHALAK *et al.*, 2013).

Define-se como bioissorção todo processo de sorção no qual um sorvente sólido de origem natural, ou seus derivados, é usado na retenção de espécies químicas presentes em um meio aquoso (MURALEEDHARAN, 1991).

A bioissorção trata-se de uma alternativa válida economicamente em substituição a adsorção convencional, onde é proposto o uso de biomassas de origem vegetal e resíduos agroindustriais, sendo eles produzidos em grande escala, com baixo custo, alta seletividade e eficiência (CUNHA, 2014).

Em 1949 ocorreu o primeiro estudo sobre bioissorção, que foi realizado por Ruchhoft, onde o mesmo removeu Pu-239 de água usando lodo ativado, porém, somente em 1986 que a técnica de bioissorção foi reconhecida como uma tecnologia emergente, pela *Solvente Engineering Extration and Ion Exchange Group of the Society of Chemical Industry* no Reino Unido (VOLESKY, 1990).

Devido ao baixo custo da biomassa e sua eficiência alcançada na remoção de diferentes contaminantes, o seu uso no processo de bioissorção vem sendo considerada uma técnica promissora para o tratamento de efluentes. Ambos os tipos de biomassas podem ser usados no processo de bioissorção, esteja ela viva ou morta, porém mantê-la viva durante o processo de sorção é difícil, pois o mesmo produto precisa de um fornecimento contínuo de nutrientes, sem contar a possibilidade de presença de espécies que são nocivas ao microorganismo. Todas essas dificuldades

podem ser superadas com a utilização da biomassa inerte que pode, ainda, ser regenerada e reutilizada mais de uma vez. Por mais prós que o uso de biomassa inerte ofereça, ela também apresenta alguns contras, tais como, a dificuldade na separação da biomassa após a sorção, a baixa resistência mecânica e o pequeno tamanho da partícula, o que dificulta o uso em sistemas de colunas. Porém, elas podem ser imobilizadas em matrizes poliméricas, sendo então, possível aumentar a sua resistência. Outra barreira que encontra-se com o uso dessas biomassas é o alto custo das culturas puras de células e pela necessidade da imobilização ou separação de soluções aquosas (YANG & VIRAGJVAN, 2001).

Alguns minerais naturais vêm sendo estudados como produtos alternativos para a remoção de contaminantes de efluentes, tendo como exemplo, a remoção de corantes. Em geral, estes materiais são promissores, pois apresentam grande área superficial e excelente capacidade de troca-iônica. (CRINI, 2006).

Segundo Santos (2013) a casca de banana é um dos biossorventes que têm sido investigados para a remoção agentes, tais como, corantes têxteis de efluentes.

## 2.10 Casca da Banana

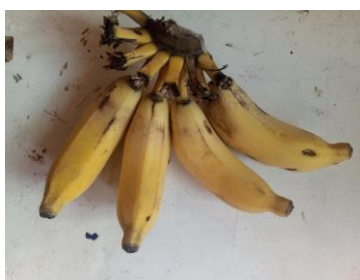


Figura 2: Banana prata (*Musa sapientum*)

Fonte: autora

A banana (Figura 2) é um dos frutos mais cultivados em todo mundo. Segundo a FAO (2012), o Brasil encontra-se na 4ª posição do ranking dos maiores produtores mundiais de banana, depois da Índia, China e Filipinas. No ano de 2011, foram produzidas, aproximadamente, 7 milhões de toneladas do fruto. O cultivo é realizado

em todas as regiões do país, sendo a região que apresenta maior taxa de produção é a Nordeste, com mais de 2 milhões de toneladas no ano de 2011 (IBGE 2012).

Segundo estudos apresentados por Costa *et al.* (2012) cerca de 30 – 40% do peso total da banana se encontra na casca. Com o descarte inapropriado, acaba-se gerando ainda mais resíduos provenientes de atividades agrícolas. As principais formas de utilização da casca de banana é para adubos, ração de animal e preparação de proteínas.

Porém, é conhecido que a casca de banana apresenta grandes propriedades adsorvitivas tanto para metais pesados quanto para compostos orgânicos principalmente devido à presença de grupos hidroxila e carboxila na pectina em sua composição (SANTOS, 2013). Utilizar esse tipo de matéria orgânica para descontaminar efluentes industriais se mostra uma prática viável, porque evita o descarte incorreto da casca da banana gerando seu acúmulo no meio ambiente (COSTA *et al.*, 2012).

Segundo Franco *et al* (2015), por conta dessas características, a casca de banana é um material em potencial para ser usado como adsorvente alternativo na remoção de corantes e na substituição do carvão ativado. O pó da casca da banana, quando usado como adsorvente, passa o nível de 80% de adsorção.

### 3. METODOLOGIA

A metodologia usada nesse trabalho é de natureza básica com uma abordagem quantitativa e qualitativa, realizada por meio de um procedimento experimental, detalhado a seguir, e cujos resultados foram discutidos por meio de levantamento bibliográfico.

#### 3.1 Preparo do Biossorvente

Para realização do experimento, as cascas de banana do tipo prata (*Musa sapientum*) foram secas em estufa com recirculação de ar (marca: Ethick, modelo: 402) a 70° C, por 12h. Após o processo de secagem, a biomassa foi resfriada em dessecador e em seguida foi triturada uma massa de 350 gramas de cascas de banana em um moinho de facas (Marca: Plastimax, Figura 3), sendo o processo de moagem repetido por 8 vezes.



Figura 3 Moinho de Facas

Fonte: autora

### 3. 2 Caracterização do biosorvente

Nessa etapa do experimento utilizou-se técnicas experimentais para caracterizar fisicamente o material biosorvente trabalhado.

#### 3.2.1 Análise granulométrica

Para realizar à análise granulométrica, utilizou-se uma alíquota de casca de banana seca e moída, de aproximadamente 210 g. O procedimento foi realizado no equipamento de vibração (marca: BT-001) com peneiras acopladas de aberturas n°. 4, 9, 20 mesh e uma peneira de fundo (Figura 4). O biosorvente retido em cada peneira foi pesado em balança analítica (marca: Bioscale, modelo: 220g/ 0,0001g) e foram calculadas as porcentagens em massa para definição da curva de granulometria. Por isso optou-se por usar nos ensaios de biossorção, a casca moída retida na peneira 9.



Figura 4: Peneiras no equipamento de vibração

Fonte: autora

### 3.2.2 Determinação do ponto de carga zero (pHzpc)

Os processos de adsorção são fortemente dependentes do pH e por isso o pHzpc, que indica o valor de pH no qual o biossorvente apresenta um somatório nulo de cargas superficiais foi determinado. Esse procedimento consistiu na adição de 11 amostras de 3 g da casca de banana seca à 11 recipientes contendo 50 mL de soluções com pHs variando de 2 a 12. As soluções ácidas e básicas foram preparadas com HCl e NaOH ( $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ ), respectivamente. As misturas foram agitadas e em seguida foram mantidas por 1 hora em repouso. Após o repouso, o pH de cada solução foi medido com o auxílio de um pHmetro (marca: HANNA), como pode ser observado na Figura 5.



Figura 5: Ensaio de pHzpc

Fonte: autora

### 3.2.3 Caracterização Morfológica por MEV

As análises morfológicas e textuais das amostras de biossorvente foram efetuadas por meio de microscópio de varredura eletrônica–MEV ETH:15.00Kv Mag= 1.68 K X (marca: Carl Zeiss, modelo: EVO MA10).

Inicialmente, as amostras foram colocadas em suportes metálicos e pulverizadas com uma fina camada de ouro para torná-las condutoras. Após a etapa de metalização, cujo objetivo é proporcionar uma melhor resolução das imagens, as amostras foram encaminhadas para análises no MEV no qual foram microfotografadas em diferentes níveis de aumento (Figura 6).



Figura 6: Ensaio no MEV

Fonte: autora

### 3.3 Avaliação do Biossorvente

Nesta etapa avaliou-se o potencial da casca de banana como biossorvente de azul de metileno, um corante comumente utilizado na indústria têxtil.

### **3.3.1 Preparo da Solução Padrão**

A partir de uma solução padrão de azul de metileno foram produzidas 7 soluções de 1L de concentrações 1, 5, 10, 20, 30, 40 e 50 mg/L. Essas soluções tiveram suas absorvâncias lidas no espectrofotômetro UV-VIS (marca: Evolution 300) e a partir destes dados construiu-se um gráfico de concentração x absorvância.

### **3.3.2 Ensaio de bioadsorção**

Para os ensaios de bioadsorção, adicionaram-se em 15 tubos de ensaio 2 g da casca de banana seca a 20 mL de solução de azul de metileno de concentração 50 mg/L, sendo agitados manualmente por 5 minutos. Após a agitação, esperou-se por 1, 2, 3, 4 e 5 horas o processo de bioadsorção ocorrer. Após o tempo de adsorção, as amostras foram filtradas, descartando-se a parte sólida impregnada de corante. O líquido resultante, com coloração visivelmente modificada, foi armazenado para posterior análise no espectrofotômetro UV-VIS. Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Do preparo do Biossorvente

O aspecto relevante do presente trabalho é a o aproveitamento da biomassa da casca de banana como adsorvente. As amostras de cascas de bananas estudadas representaram 35% da massa total da banana adquirida, ou seja, para cada 1 kg de banana era possível obter 350 g de cascas. Dessa biomassa que seria descartada, após o processo de secagem descrito no item materiais e métodos, foi possível perceber que o teor de umidade dessas cascas de banana foi de 71%.

### 4.2 Análise Granulométrica

Com o procedimento citado na metodologia para o ensaio granulométrico, o resultado obtido de cada peneira e fundo, são apresentados na Tabela 1.

Peneira	Diâmetro (mm)	Massa retida (g)	Fração retida	Porcentagem retida (%)	Fração passante	Porcentagem passante (%)
4	4,750	8,322	0,042	4,157	0,958	95,843
9	2,000	115,085	0,575	57,488	0,384	38,355
20	0,841	43,583	0,218	21,771	0,166	16,585
Fundo	0,000	33,201	0,166	16,585	0,000	0,000
		200,191	1,000	100,000		

Tabela 1: Distribuição Granulométrica da casca de banana seca e moída

Sabe-se que quanto menor a granulometria maior é a área de contato entre adsorvente e adsorvato, porém observando-se a tabela 1, é possível verificar que a quantidade de adsorvente retida na peneira 4 não permitiria a conclusão de todos os ensaios experimentais.

### 4.3 Ponto de Carga Zero

As cascas de banana são compostas por proteínas, lipídios e carboidratos (GONDIM *et al.*, 2005), sendo os mesmos responsáveis pela carga superficial dos adsorventes devido aos processos de dissociação dos grupos funcionais presentes. O pH é um fator de grande influência nos processos de adsorção, pois o mesmo influencia na dissociação dos grupos funcionais.

O valor de  $pH_{zpc}$  foi determinado por medidas de pH das soluções antes e após o contato destas com o biossorvente e o resultado deste ensaio é mostrado na Figura 7. A determinação do  $pH_{zpc}$  é importante pois permite estimar a carga da superfície do adsorvente e assim avaliar a faixa de pH ideal para o processo de biossorção.

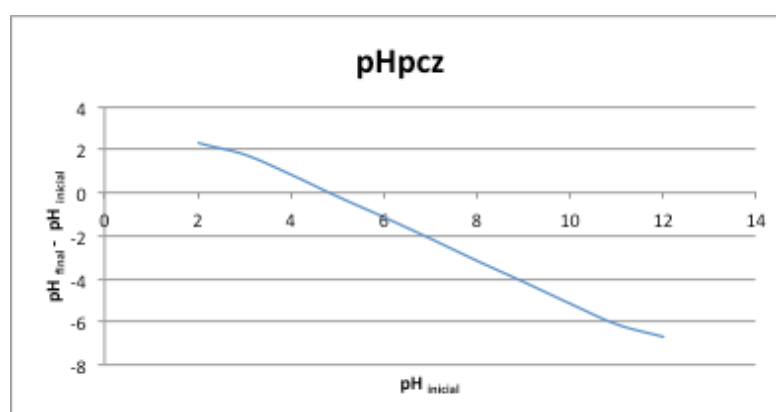


Figura 7:  $pH_{zpc}$  do biossorvente

De acordo com a Figura 7, o  $pH_{zpc}$  é 4,72 ou seja, quando o biossorvente estiver imerso em uma solução com o pH abaixo deste valor, o biossorvente apresenta uma carga superficial positiva o que favorece a adsorção de ânions. Uma solução que

apresente um pH acima de 4,72 favorecerá a adsorção de cátions, pois a superfície da fibra estará carregada negativamente. Como azul de metileno é um corante do tipo catiônico, comumente empregado para o tingimento de seda, lã e algodão (FABRICIO et al., 2010) e o pH da solução inicial foi de 7,1, o resultado do pH<sub>zpc</sub> encontrado sugeriu um favorecimento do processo de adsorção.

Sousa (2015) ao estudar a remoção dos contaminantes emergentes sulfametoxazol (SMX), 17 $\alpha$ -etinilestradiol (EE2) e estrona (E1) presentes em amostras de água utilizando os adsorventes naturais casca de Banana e *Typha Angustifolia L.* in natura e tratados em meio ácido, encontrou pH<sub>zpc</sub> da casca de banana in natura igual a 5,6, valor diferente do encontrado no presente trabalho, porém também na faixa ácida.

#### 4.4 Microscopia de Varredura Eletrônica (MEV)

A microscopia de varredura eletrônica é uma ferramenta importante na caracterização da amostra de um adsorvente, pois proporciona a visualização das características morfológicas das superfícies.

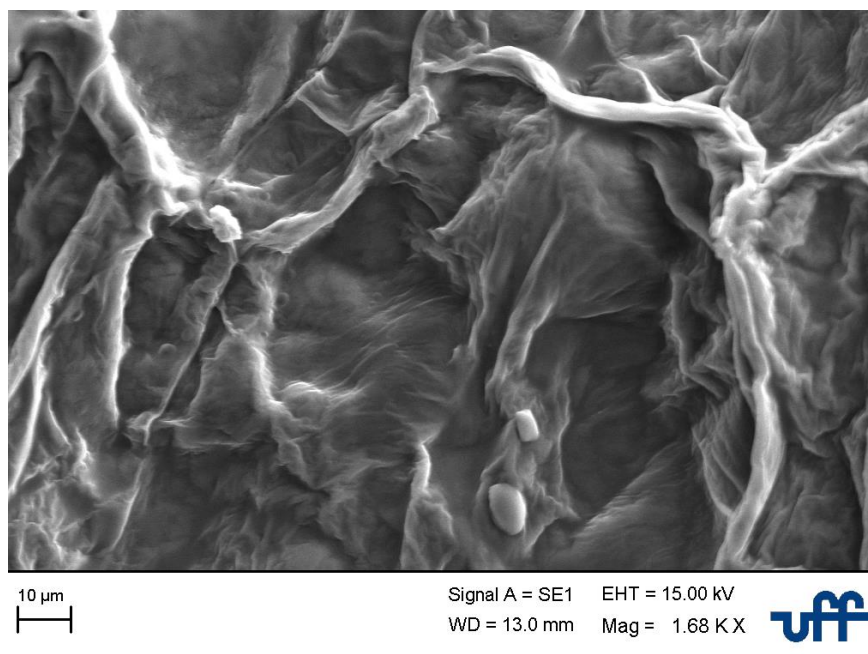


Figura 8: MEV do biossorvente

Observa-se na Figura 8 a existência de poros, uma superfície de natureza irregular, rugosa, com grande área superficial, indicando características desejáveis e fundamentais para estudos de biossorção.

Gonçalves *et al.* (2016) ao realizarem uma micrografia de cascas de banana cozidas também observaram a presença de fibras, com rugosidade expressiva em toda a extensão da superfície.

#### 4.5 Curva padrão

A determinação das concentrações em uma solução por espectrofotometria envolve a comparação da absorbância da solução com uma solução de referência na qual já se conhece a concentração do soluto. Assim, a partir de uma solução padrão diluída em diversas concentrações, leu-se a absorbância destas e construiu-se a curva padrão apresentada na Figura 9.

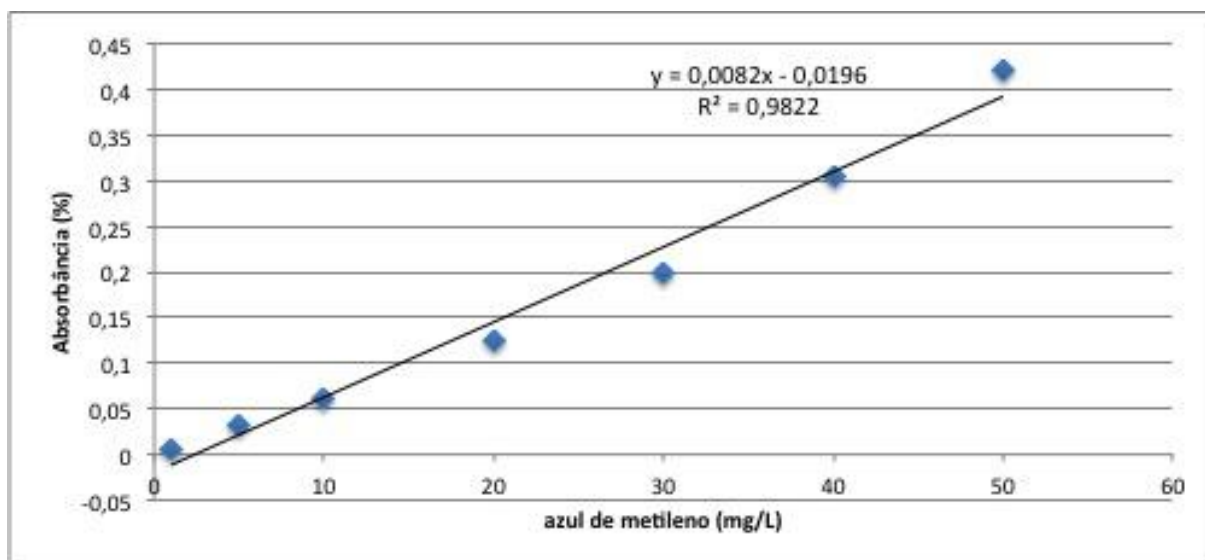


Figura 9: Equação padrão para azul de metileno (Abs= a. C + b)

Na Figura 9, a reta indica a proporcionalidade entre o aumento da concentração e da absorbância, e a porção linear corresponde ao limite de sensibilidade do método para o azul de metileno.

#### 4.6 Resultado dos ensaios de biossorção

Os resultados apresentados na Figura 10 são apresentados em termos da eficiência de remoção. A eficiência de remoção dos metais foi calculada de acordo com a Equação 1 (ALEXANDROVA & GRIGOROV, 1996), que relaciona a concentração do metal no início do experimento e no final do experimento.

$$\eta(\%) = \left(1 - \frac{c_f}{c_i}\right) \cdot 100 \quad (1)$$

Na qual:  $c_f$  = concentração final do metal;  $c_i$  = concentração inicial do metal.

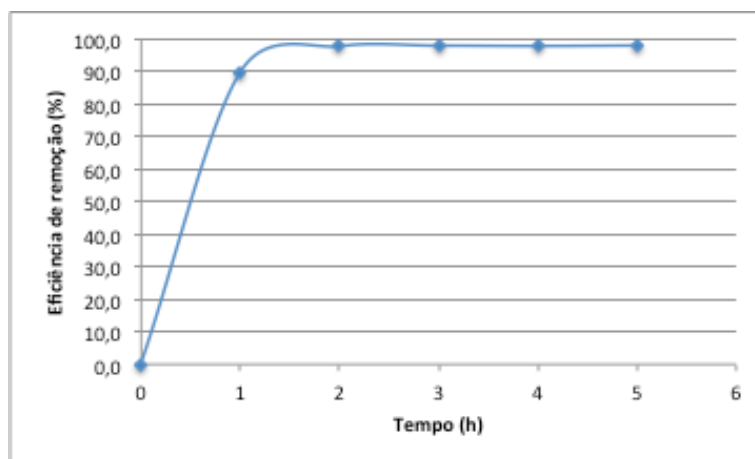


Figura 10: Eficiência de remoção

Verifica-se na Figura 10 que após 2h (120 min) de biossorção a eficiência de remoção já se encontrava em torno de 98%, e o sistema já se encontrava praticamente em equilíbrio. Tal constatação corrobora com a observação visual das amostras, conforme a Figura 11, em que a amostra 1 trata-se do efluente sintético antes do

tratamento e as demais amostras consistem no efluente após 1, 2, 3, 4 e 5 horas de tratamento.

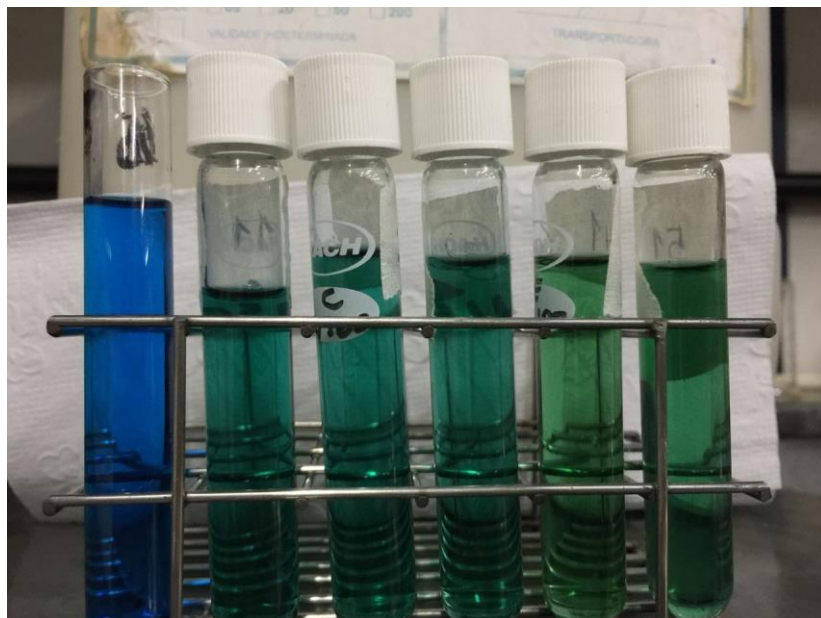


Figura 11: Ensaio de Biossorção

Fonte: autora

Honorato *et al* (2015) avaliaram a capacidade de adsorção do corante azul de metileno nos resíduos da palha de milho e da bainha do palmito pupunha in natura. Nesta pesquisa, o tempo necessário para que o sistema atingisse o equilíbrio para ambos os resíduos foi de 240 minutos, o dobro do tempo observado no presente estudo e o pH 7,0 foi o que apresentou melhor resposta na adsorção para ambos os resíduos, pH muito próximo do estudado neste trabalho de conclusão de curso.

Verruch Jr e Vasconcelos (2010) também avaliaram a biossorção de corante azul de metileno porém usando casca/palha de trigo e casca de pistache. Neste trabalho, o equilíbrio foi alcançado em cerca de 90 e 240 minutos, respectivamente, e as porcentagens de remoção de azul de metileno da solução, após atingir o equilíbrio, foram iguais a 75%, resultado inferior quando comprado aos resultados obtidos no presente trabalho. Os resultados sugerem que a casca de banana constitui um eficiente biossorvente para o azul de metileno.

## 5. CONCLUSÃO

Como foi discutido e apresentado nesse trabalho, a banana é um alimento largamente consumido no Brasil, e por isso a geração de resíduos sólidos é proporcional ao seu consumo. Isso foi comprovado já na primeira etapa do trabalho, ou seja, no preparo do biossorvente, no qual foi observado que a cada 1 kg de banana, 350 gramas constituem apenas cascas.

Nesse contexto, o projeto avaliou o uso da casca de banana como biossorvente no tratamento de efluentes da indústria têxtil, já que a biossorção é uma alternativa em comparação aos outros processos tradicionais de tratamento, propondo duas soluções simultâneas: possível destinação ao resíduo sólido (casca de banana) e tratamento de efluente (da indústria têxtil).

Durante os ensaios de caracterização morfológica, foi observado que a casca de banana apresentava superfície rugosa, com poros e ponto de carga zero (pHPCZ) igual a 4,72 que favorece a adsorção de corantes catiônicos em soluções com o pH superior ao pHPCZ.

Por fim, os resultados encontrados nos ensaios de adsorção mostraram que a casca de banana foi efetiva na redução de azul de metileno nas amostras, sendo possível alcançar 98% de remoção do corante em 2 horas de biossorção.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDROVA, I., GRIGOROV, L. **precipitate and adsorbing colloid flotation of dissolved copper, lead and zinc ions**. *Internacional Journal of Mineral Processing*. 48, p. 11-125, 1996.

AJMAL, M.; RAO, R. A. K.; AHMAD, R.; Ahmad, J.; Rao, L. A. K. J. **Adsorption studies on Citrus reticulata: Removal and recovery of Ni(II) from electroplating wastewater**. *Journal of Hazardous Materials*, v.B79, p.117-131, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3894\(00\)00234-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-3894(00)00234-X).

ALMEIDA, E.; ASSALIN, M. R.; ROSA, M. A.; DURÁN, N. - **Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio**. *Química Nova*. V27 N5 (2004).

ASADULLAH M, ASADUZZAMAN M, KABIR MS, MOSTOFA MG AND MIYAZAWA T. **Chemical and structural evaluation of activated carbon prepared from jute sticks for Brilliant Green dye removal from aqueous solution**. *J Hazard Mater* 174: 437-443 2010.

CAMPOS, P.R.F. **Ativação de carvão em reator de leito fluidizado**, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, 1996.

CARREIRA, M. F. - **Sistemas de Tratamento de Efluentes Têxteis – uma análise comparativa entre as tecnologias usadas no Brasil e na península Ibérica**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Departamento de Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC (2006).

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 20, de 18 de junho de 1986. **Classificação das águas doces, salobras e salinas**.

COSTA, F. O.; SILVA, A. M.; CARVALHO, E. S.; SILVA, V. L. M. M.; LIMA, L. M. R. **Uso da casca da banana como bioadsorvente em leito Diferencial na adsorção de compostos orgânicos**. Paraíba: UEPB, 2012. Disponível em: [http://editorarealize.com.br/revistas/enect/trabalhos/f038abf38ac6f44249b441ca54804696\\_161.pdf](http://editorarealize.com.br/revistas/enect/trabalhos/f038abf38ac6f44249b441ca54804696_161.pdf). Acesso em: 2 Abr. de 2018.

CUNHA, Bruna S. **Utilização de bioadsorventes alternativos na remoção de corantes têxteis**. 2014. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia

Ambiental) - Diretoria De Graduação E Educação Profissional Curso De Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal Do Paraná. Medianeira, 2014.

CRINI, Gregório. ***Kinetic and equilibrium studies on the removal of cationic dyes from aqueous solution by adsorption on a cyclodextrin polymer***, Dyes and Pigment, 77, 415-426, 2008.

DABROWSKI, A. ***Adsorption - from theory to practice***. Advances in Colloid and Interface Science, v. 93, p. 135-224, 2001.

DAVEY, M.W.; KEULEMANS, J.; SWENNEN, R. ***Methods for the efficient quantification of fruit provitamin A contents***. Journal of Chromatography A. v. 1136, p. 176-184, 2006.

ESSIEN, J.P.; AKPAN, E.J.; ESSIEN, E.P. ***Studies on mould growth and biomass production using waste banana peel***. Bioresource Technology. v. 96, p. 1451-1456, 2005.

FABRÍCIO, T. N. R.; BRAGA, M. A.; GOMES, T. R. S.; VASCONCELOS, A. K. P.; AQUINO, M. D.; ARAÚJO, R. D. S. ***Produção de biossurfactante e biodegradação no cultivo de geobacillus stearothermophilus com corante azul de metileno***. In: V CONNEPI, 2010.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). ***Faostat3***. 2012. Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Acesso abr. de 2018.

FOUST, Alan S. *et al.* ***Princípio das operações unitárias***. 2. ed. Tradução: Horacio Macedo. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

FRANCO, C. C.; CASTRO M. M. de; WALTER, M. E. ***Estudo das cascas de banana das variedades prata, caturra e maçã na biossorção de metais pesados gerados pelos efluentes dos laboratórios do centro universitário de belo horizonte***. e-xacta, Belo Horizonte, v. 8, n. 1, p. 99-115. (2015). Editora UNIBH. Disponível em: [www.unibh.br/revistas/exacta/](http://www.unibh.br/revistas/exacta/). Acesso 2 Abr. de 2018.

GADD, G.M. ***Biosorption: critical review of scientific rationale, environmental importance and significance for pollution treatment***, Journal of Chemical Technology and Biotechnology. v. 84, Issue 1, 2009.

GONDIM, J. A.M.; MOURA, M.F.V.; DANTAS, A.S.; MEDEIROS, R.L. S.; SANTOS, K.M. ***Composição centesimal e de minerais em cascas de frutas***. Ciência e Tecnologia de Alimentos, vol. 25, p. 825-827, 2005.

GONÇALVES, M.; GUERREIRO, M. C.; BIANCHI, M. L.; OLIVEIRA, L. C. A.; PEREIRA, E. I.; DALLAGO, R. M. **Produção de carvão a partir de resíduo de erva-mate para a remoção de contaminantes orgânicos de meio aquoso.** Ciência e Agrotecnologia, v.31, p.1386-1931, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542007000500017>.

GONÇALVES, J. Q et al **secagem da casca e polpa da banana verde (musa acuminata): propriedades físicas e funcionais da farinha** Gl. Sci Technol, Rio Verde, v.09, n.03, p.62 - 72, set/dez. 2016.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. - **Corantes Têxteis.** Química Nova. V23 N1 (2000), p.71-78.

HASSEMER, Maria Eliza N. **Oxidação Fotoquímica - Uv/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> - Para Degradação De Poluentes Em Efluentes Da Indústria Têxtil.** 2006. Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Ambiental. - Departamento De Engenharia Sanitária E Ambiental, Universidade Federal De Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

HONORATO, A. C. et al **Biossorção de azul de metileno utilizando resíduos agroindustriais.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental Campina Grande, PB, UAEA/UFCG. 2015.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) **Levantamento sistemático da produção agrícola.** Rio de Janeiro v.25 n.02 p.l-88 fev 2012.

IMMICH, A. P. S. **Remoção de Corantes de efluentes têxteis utilizando folhas de Azadirachta indica como sorvente;** Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Agosto de 2006.

KUNZ, A.; ZAMORRA, P. P.; MORAES, S. G. de; DURÁN, N. **Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis.** Química Nova, v. 25, n.1, pp.78-82, 2002.

KNAPP, F.F.; NICHOLAS, H.J. **The sterols and triterpenes of banana peel.** Phytochemistry. v. 8, n. 1, p.207-214, 1969.

LEÃO, M. D. *et al.* **Controle ambiental na indústria têxtil: acabamento de malhas**. 1 edição. Projeto Minas Ambiente. Editora Segrac. Belo Horizonte, 2002.

LEDAKOWICZ, S.; SOLECKA, M.; ZYLLA, R. - ***Biodegradation, decolourisation and detoxification enhanced by advanced oxidation processes***. Journal of Biotechnology. V89 (2001), p.175-184.

LIMA, C. A. **Avaliação da remoção de Cr (III) empregando o pseudocaule da bananeira (*Musa paradisíaca*) como biossorvente**. Seropédica: UFRRJ-RJ, 2013.

MARTINS, G. B. - **Práticas Limpas Aplicadas as Indústrias Têxteis de Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC (1997).

MICHALAK, I.; CHOJNACKA, K.; WITEK-KROWIAK, A.. ***State of the Art for the Biosorption Process—a Review***. Applied Biochemistry and Biotechnology, p. 1, 2013.

NEUMANN M. G; GESSNER F; Cione A. P. P; SARTORI R. A.; CAVALHEIRO C. C. S. **Interações entre corantes e argilas em suspensão aquosa** Instituto de Química de São Carlos - Universidade de São Paulo - São Carlos - SP Quím. Nova vol.23 n.6 São Paulo Dec. 2000.

MURALEEDHARAN, T. R; IYENGAR, L; VENKOBACHAR, C. ***Biosorption: an attractive alternative for metal removal and recovery***, Current Science, v. 61, n. 6, p. 379-385, 1991.

OLIVEIRA, Elisangela A. **Estudo do potencial de utilização da biomassa de *Luffa cylindrica* na descontaminação de efluentes contendo íons metálicos e corantes têxteis**. 2014. Dissertação de Doutorado - Centro De Ciências Exatas; Departamento De Química, Programa De Pós-graduação Em Química, Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2007.

OLIVEIRA, S. P. **Adsorção do Corante Azul de Metileno em Caulinita Natural e Intercalada com Acetato de Potássio Provenientes da Região de Bom Jardim de Goiás – GO**. Tese (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2012.

OZSOY, H. D.; KUMBUR, H. ***Adsorption of Cu (II) ions on cotton boll***. Journal of Hazardous Materials, v.136, p.911-916, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.01.035>.

PINHEIRO, H. M.; TOURAUD, E.; THOMAS, O. - **Aromatic amines from azo dye reduction: status review with emphasis on direct UV spectrophotometric detection in textile industry wastewaters**. *Dyes and Pigments*. V61 (2004), p.121-139.

QODAH, Z Al. **Adsorption of dyes using shale oil ash**. *Water Research*, v. 34, p. 4295-4303, dec. 2000.

RAMOS, I. R. A. - **Aplicação de Membranas Dinâmicas ao Tratamento de Efluentes da Indústria Têxtil**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia do Ambiente). Departamento de Engenharia Têxtil, Universidade do Minho, Portugal 2002.

SANIN, L. B. B. - **A Indústria Têxtil e o Meio Ambiente**. *Tecnologia e Meio Ambiente*. In: XIV Congresso da FLAQT – Caracas, p.13-34 (1997).

SANTOS, M. **Casca de banana é usada na despoluição da água**. São Paulo: USP, 2013. Disponível em: <http://www.usp.br/agen/?p=135446>. Acesso em: 2 Abr. de 2018.

SILVA C. S. *et al.* **Avaliação econômica das perdas de banana no mercado varejista: um estudo de caso**. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 25, 229-234.2013.

SILVEIRA, Dalila M. *et al.* **Avaliação da capacidade de adsorção de vermiculita hidrofóbica em contato direto com óleo**. *Escola de Minas, São Paulo*, v. 59, n. 3, jul./set. 2006.

SOARES, J.L. **Remoção de Corantes Têxteis por Adsorção em Carvão Mineral Ativado com alto Teor de Cinzas**; Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Dezembro de 1998.

SOUSA, Priscila A. R. **Avaliação da adsorção de contaminantes emergentes pela Casca de Banana e Folhas da Typha Angustifolia L.** [manuscrito] / Priscila Afonso Rodrigues de Sousa. - 2015.

TARLEY, C. R. T. **Concentração de Cd(II) e Pb(II) em materiais alternativos empregando sistemas em fluxo e espectrometria de absorção atômica**. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Estadual de Campinas, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. 2004.

TOLEDO, R. A. S. **Tecnologia de reciclagem**. Química têxtil, p 8-14. 2014.

TWARDOKUS, R. G. **REUSO DE ÁGUA NO PROCESSO DE TINGIMENTO DA INDÚSTRIA TÊXTIL**. Tese de Mestrado em Engenharia Química do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina. 2004.

VERRUCH JR, C. R.; VASCONCELOS, H. L. **Uso de resíduos agrícolas na biossorção de corante orgânico**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 50. 2010, Cuiabá.

VOLESKY, B., **Biosorption of Heavy Metals**. Boston: CRC Press, Inc., 396 p 1990.

VULCZACK, C. **Tratabilidade do efluente de uma tinturaria e aplicação de tratamento Foto-Fenton**; Trabalho de Conclusão de Curso, Pontifícia Universidade Católica do Paraná; 2005.

YANG, G.; VIRAGJVAN, T. **Heavy metal removal in a biosorption column by immobilized M. Rouxii biomass**. Bioresource Technology, v.78, p.243-249, 2001.