

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CURSO DE ENGENHARIA TÊXTIL**

**HELEN BERALDO FIRMINO**

**DESENVOLVIMENTO DE TÊXTEIS BIOFUNCIONAIS UTILIZANDO  $\beta$ -CD E  
ERITROSINA B**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II**

**APUCARANA**

**2019**

**HELEN BERALDO FIRMINO**

**DESENVOLVIMENTO DE TÊXTEIS BIOFUNCIONAIS UTILIZANDO  $\beta$ -CD E  
ERITROSINA B**

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Têxtil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Fabricio Maestá Bezerra  
Coorientador: Prof. Dr. André Luiz Tessaro

**APUCARANA**

**2019**



**Ministério da Educação**  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Apucarana  
COENT – Coordenação do curso superior em Engenharia Têxtil



### **TERMO DE APROVAÇÃO**

**Título do Trabalho de Conclusão de Curso:**

**Desenvolvimento de têxteis biofuncionais utilizando B-CD e Eritrosina B**

por

HELEN BERALDO FIRMINO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado aos quatro dias de dezembro de dois mil e dezenove, às dez horas e trinta minutos, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Têxtil do curso de Engenharia Têxtil da UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela banca examinadora composta pelos professores abaixo assinado. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

PROFESSOR(A) ANDRÉ LUIZ TESSARO – CO-ORIENTADOR

---

PROFESSOR (A) DAYANE SAMARA DE CARVALHO COLTRE – EXAMINADOR(A)

---

PROFESSOR(A) CAROLINE APOLONI CIONEK – EXAMINADOR(A)

\*A Folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

## RESUMO

FIRMINO, Helen Beraldo. 2019. **Desenvolvimento De Têxteis Biofuncionais Utilizando  $\beta$ -CD e Eritrosina B.** 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Têxtil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Apucarana, 2019.

O algodão é a fibra natural mais consumida no mundo e por causa das suas características únicas se torna uma fibra com diversas aplicações. Dessa forma, novos estudos e projetos de inovações são desenvolvidos para a fibra. A partir disso, mudanças superficiais podem ser feitas no tecido para que a durabilidade dos acabamentos seja aumentada, assim como novos produtos possam ser aplicados. Neste caso foi utilizado a  $\beta$ -Ciclodextrina, que é um oligossacarídeo com estrutura tronco-cônica que é capaz de interagir com o tecido de algodão por meio de um processo de esterificação. Além disso, têm a capacidade de complexar ativos, funcionalizando o tecido. Dessa forma, estes materiais têxteis modificados quando em contato com o corpo humano e pele são projetados para transferir diretamente material ativo, como o caso do corante Eritrosina B, aplicado para fins cosméticos ou médicos, podendo possuir características antimicrobianas, quando expostos a luz. Dessa forma, é possível o desenvolvimento de tecidos biofuncionais com  $\beta$ -CD complexadas por Eritrosina B por processo de modificações superficiais em tecidos 100% algodão. Os materiais obtidos foram caracterizados utilizando às técnicas de Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier de Reflexão Total Atenuada, Microscopia Eletrônica de Varredura, Análise Colorística, Índice de Brancura e Análise Microbiológica. E os resultados provaram a mudança superficial do tecido por  $\beta$ -Ciclodextrina por meio da esterificação e a complexação do mesmo com eritrosina B, além de uma redução de aproximadamente 98% das bactérias presentes no meio de cultura, resultando em um tecido biofuncional antimicrobiano.

**Palavras-chave:** Ação Fotodinâmica, Antimicrobiano, Biofuncional, Ciclodextrina, Eritrosina B.

## ABSTRACT

FIRMINO, Helen Beraldo. 2019. **Development of Biofunctional Textiles Using  $\beta$ -CD and Erythrosine B**. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bachelor of Textile Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Apucarana, 2019.

Cotton is the most consumed natural fiber in the world and because of its unique characteristics becomes a fiber with various applications. Thus, new studies and innovation projects are developed for the fiber. From this, surface changes can be made to the fabric so that the durability of the finishes is increased as new products can be applied. In this case we used  $\beta$ -Cyclodextrin, which is a trunk-conical oligosaccharide that is able to interact with cotton fabric through an esterification process. In addition, they have the ability to complex assets, functionalizing the fabric. Thus, these modified textile materials when in contact with the human body and skin are designed to directly transfer active material, such as the Erythrosin B dye, applied for cosmetic or medical purposes, and may have antimicrobial characteristics when exposed to light. Thus, the development of  $\beta$ -CD biofunctional fabric complexed by Erythrosin B by surface modification in 100% cotton fabrics is possible. The obtained materials were characterized using Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy, Scanning Electron Microscopy, Coloristic Analysis, Whiteness Index and Microbiological Analysis techniques. And the results proved the superficial change of the fabric by  $\beta$ -Cyclodextrin by esterification and its complexation with erythrosin B, besides a reduction of approximately 98% of the bacteria present in the culture medium, resulting in an antimicrobial biofunctional fabric.

**Keywords:** Photodynamic Action, Antimicrobial, Biofunctional, Cyclodextrin, Erythrosin B.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1–Classificação das Fibras Têxteis .....	13
Figura 2- Fibra de Algodão .....	14
Figura 3 - Celulose constituinte da fibra de algodão .....	15
Figura 4- Estruturas das $\alpha$ -, $\beta$ - e $\gamma$ - CDs.....	18
Figura 5- Reação de Esterificação .....	19
Figura 6 - Mecanismo de esterificação do tecido de algodão modificado com $\beta$ -CD. .....	20
Figura 7-Método de Esterificação.....	23
Figura 8-FTIR-ATR das amostras tratadas e sem tratar com $\beta$ -CD .....	27
Figura 9-Algodão sem tratamento e algodão após a tratamento com $\beta$ -CD, respectivamente. ....	29
Figura 10-Grau de alvura em 170°C nos tempos 3, 5, 10, 15, 20, 30 e 40 minutos...30	
Figura 11-Constante K/S. ....	31
Figura 12- Placas petri sem amostra.....	32

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>10</b>
2.1	OBJETIVOS GERAIS	10
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
<b>3</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>13</b>
4.1	FIBRAS	13
4.2	TÊXTEIS BIOFUNCIONAIS	15
4.3	CICLODEXTRINAS	17
4.4	APLICAÇÃO DE CICLODEXTRINA EM SUBSTRATO TÊXTIL	18
4.5	ERITROSINA	20
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
5.1	MATERIAIS	22
5.2	MÉTODO DE IGUALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS	22
5.3	MÉTODO DE ESTERIFICAÇÃO	22
5.5	MÉTODO DE COMPLEXAÇÃO DA ERITROSINA B	23
5.6	MÉTODOS DE AVALIAÇÃO	23
5.6.1	ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER DE REFLEXÃO TOTAL ATENUADA (FTIR-ATR)	23
5.6.2	MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA (MEV)	24
5.6.3	ÍNDICE DE BRANCURA (CIE WI)	24
5.6.4	ANÁLISE COLORIMÉTRICA	24
5.6.5	ANÁLISE MICROBIOTA	25
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>26</b>
6.1	ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER DE REFLEXÃO TOTAL ATENUADA (FTIR-ATR)	26

6.2 MICROSCOPIA ELETRÔNICO DE VARREDURA (MEV) .....	28
6.3 ÍNDICE DE BRANCURA (CIE WI).....	29
6.4 ANÁLISE COLORIMÉTRICA .....	30
6.5 ANÁLISE MICROBIOTA.....	31
<b>7 CONCLUSÃO .....</b>	<b>34</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>35</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente o algodão representa economicamente uma parcela de mais de 50% do mercado global de fibras e possui características intrínsecas à estas como: alta resistência à tração, hidrofiliidade, alta absorção de umidade e conforto (GORDON; HSIEH, 2007; PEREIRA, 2009; PITA, 1996). Além de dispor de todas essas propriedades, pode-se adicionar novas características ao tecido por meio de metodologias inovadoras (BURKINSHAW, 2016) de grande apelo industrial.

Sendo assim, há uma necessidade de somar características ao tecido de algodão para que este se torne ainda mais consumido e consiga atender um público mais exigente, que necessita de curativos que auxiliem em uma boa cicatrização e que sejam de fácil aplicação (ALONSO *et al.*, 2016). Dessa forma, o novo textil biofuncionalizado trará a função antimicrobiana, responsáveis pela melhor cicatrização de feridas (FREITAS *et al.*, 2019; FRACALOSSO *et al.*, 2016).

Para que isso aconteça, é necessário que seja desenvolvido um método de aplicação de ciclodextrinas, oligossacarídeos responsáveis pela mudança de superfície do tecido para receber o composto ativo, Eritrosina B, um corante com função fotofísica de inativação de microrganismos (LOFTSSON; SAOKHAM; COUTO, 2019; KIM; MICHELSEN, 2015).

Portanto, o trabalho em questão visa a aplicação de Ciclodextrina na superfície do têxtil a partir do método de síntese direta *via* esterificação (ABDEL-HALIM, *et al.*, 2011) e complexação do corante Eritrosina B para a biofuncionalização do têxtil causando a fotoativação de microrganismos.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVOS GERAIS

Desenvolver tecidos biofuncionais com  $\beta$ -CD complexadas por Eritrosina B por processo de modificações superficiais em tecidos 100% algodão.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Fazer síntese direta *via* esterificação da  $\beta$ -CD na superfície do tecido de algodão.
- Avaliar as interações químicas, características estruturais e morfológicas do tecido tratado por síntese direta com  $\beta$ -CD.
- Avaliar as interações químicas, características estruturais, morfológicas e análise de cor dos tecidos biofuncionalizados com Eritrosina B.
- Avaliar por meio de análises microbiotas se o têxtil biofuncionalizado tem funções antibacteriana.

### 3 JUSTIFICATIVA

Segundo a Sociedade Brasileira de Dermatologia (SBD, 2019), algumas doenças de pele são frequentes e necessitam de cuidados especiais, como exemplo tem-se a Psoríase que afeta em torno de 3% da população mundial, a Paroníquia em que há a penetração de microrganismos entre unha e a pele gerando inflamação com pus e vermelhidão, o Eczema é um tipo de dermatose que se caracteriza por apresentar vários tipos de lesões e a Dermatite Atópica, uma doença genética/crônica que apresenta pele seca, erupções e crostas que coçam.

Além das doenças, os machucados que acontecem devido pequenos acidentes domésticos, sem cuidados, podem infeccionar e causar problemas maiores, podendo demorar mais do que o previsto para a cicatrização. Dessa forma, parte-se da premissa que curativos antimicrobianos podem amenizar os problemas de pessoas acidentadas, diabéticas, crianças e qualquer outra que possa apresentar machucados ou doenças crônicas de pele. Sendo este um mercado a ser explorado com a utilização de têxteis, além de possibilitar o desenvolvimento científico da área.

Dessa forma, para que funcionalizações e inovações aconteçam, novas metodologias devem ser estabelecidas, desenvolvendo têxteis biofuncionais com propriedades que incluem têxteis antimicrobianos, antifúngicos e cosmetotêxteis. Os têxteis com funções antimicrobianas têm a capacidade de transmitir benefícios para a pele, podendo trazer uma cicatrização mais rápida e eficaz, diminuindo os riscos de contaminação externa e proporcionando conforto ao usuário. Logo, os têxteis biofuncionais assumem um alto valor de mercado, se tornando um novo têxtil que confere aos usuários benefícios próprios por meio de bioativos.

Com base nisso, o trabalho em questão trata-se do desenvolvimento de um tecido de algodão funcionalizado *via* CDs complexadas com Eritrosina B, corante que na presença de luz libera substâncias que causam a inativação de microrganismos. Assim, cria-se um têxtil biofuncional com ações antimicrobianas que podem ser utilizados em curativos, bandagens e lençóis hospitalares, por exemplo.

À vista disso, o têxtil biofuncional em questão visa auxiliar uma gama de pessoas, desde as acamadas com doenças de pele, as que possuem problemas de coagulação, crianças com dermatites, pequenos traumas, feridas que demoram a se

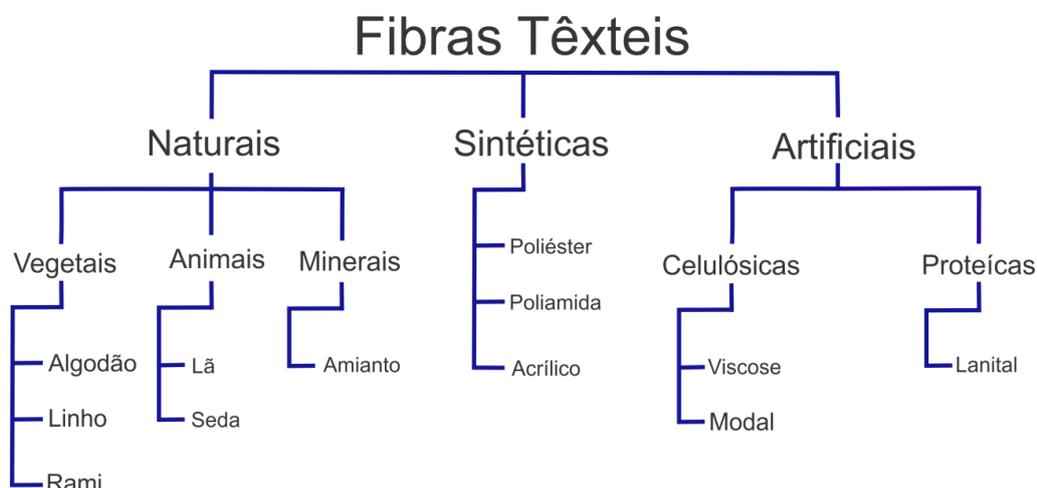
curarem e até pequenos ferimentos provenientes de tatuagens, por meio de curativos antimicrobianos.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 FIBRAS

As fibras são usadas há muitos anos como matéria-prima para a elaboração de tecidos, comumente essas fibras são separadas em principais grupos, das fibras naturais e o das sintéticas e das artificiais (GUARATINI *et al.*, 2000; PEZZOLO, 2007). A Figura 1 mostra a classificação das fibras têxteis.

Figura 1–Classificação das Fibras Têxteis



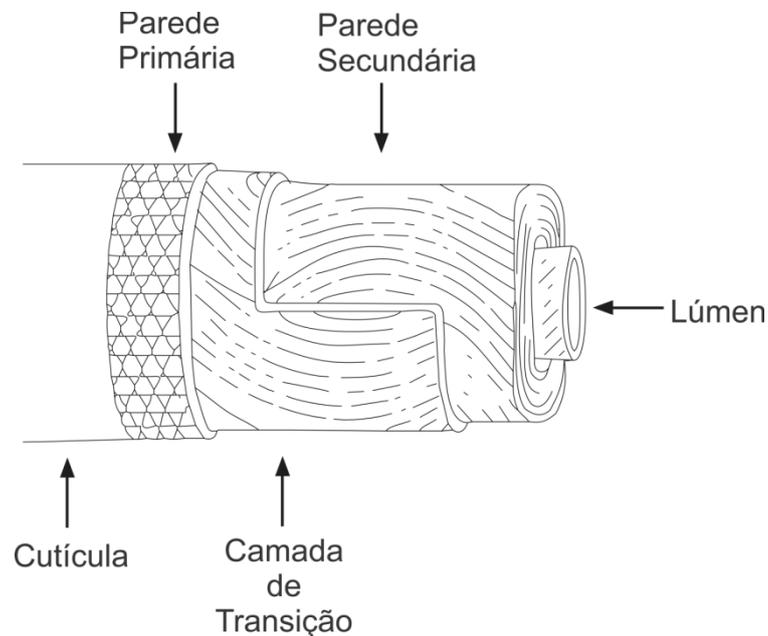
Fonte: Adaptado de Gordon; Hsieh, 2007.

Dentre os diversos tipos de fibras, tem-se que o algodão é uma fibra natural, vegetal, e representa economicamente uma parcela de mais de 50% do mercado global de fibras, sendo constituído principalmente de celulose, tem alta resistência à tração, hidrofiliidade, alta absorção de umidade e conforto. Com base nisso, o algodão assume um alto valor de mercado e garante a qualidade do seu produto final (GORDON; HSIEH, 2007; BURKINSHAW, 2016; PEREIRA, 2009; PITA, 1996).

Ao se tratar de fibras vegetais, todas possuem celulose em sua estrutura, mas nenhuma como o algodão que é constituído por aproximadamente 90% de celulose, construída a partir de conjuntos de  $\beta$  -1,4-D (+) - glucopiranose, sendo o polímero natural mais abundante com essa ordem estrutural (GORDON; HSIEH, 2007; PEREIRA 2009). De acordo com sua morfologia, a fibra de algodão é composta de cutícula, parede primária, camada de transição, secundária e lúmen (PITA 1996). Na

Figura 2 observa-se a secção transversal e longitudinal da fibra de algodão de acordo com as suas camadas.

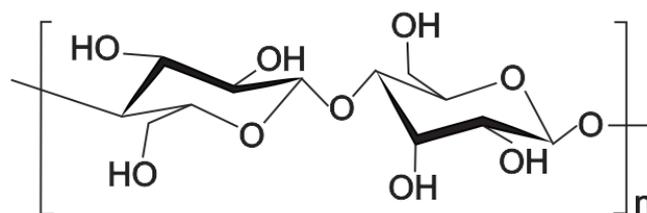
**Figura 2-** Fibra de Algodão



**Fonte:** Adaptado de Gordon; Hsieh, 2007.

Dessa forma, as composições químicas específicas das fibras de algodão variam de acordo com suas variedades, ambientes de crescimento e maturidade (PEREIRA, 2009). Dessa forma, tem-se que algodão é composto por cadeias poliméricas de celulose e sua composição química pode ser resumida em: celulose (88,0 – 96,5%), proteína (1,0 - 1,9%), pectinas (0,4 – 1,2%), ceras (0,4 – 1,2%), cinzas (1,2%), ácidos orgânicos (0,8 – 2,0%), açúcares (0,3 -0,5%) e outras substâncias (0,5 – 2,0%) (GORDON; HSIEH, 2007; HAMBY, 1965). A Figura 3 mostra a unidade de repetição da macromolécula constituinte da fibra de algodão, a celubiose ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub>.

**Figura 3** - Celubiose constituinte da fibra de algodão



**Fonte:** Adaptado de BURKINSHAW, 2016.

A partir disso, tem-se uma estrutura de anéis ligados com grupos hidroxilas projetando-se no plano da fibra. Essa macromolécula que constitui a fibra de algodão também possui ligações internas de hidrogênio paralelas às pontes de oxigênio entre os anéis, garantindo à fibra um alto módulo de resistência, alta rigidez para flexão no plano, mas se torce facilmente para fora do plano (GORDON; HSIEH, 2007; PITA 1996).

Conseqüentemente, o algodão se torna uma fibra muito visada para novos estudos em que inovações tecnológicas são aplicadas e novos acabamentos possam ser desenvolvidos. Estes novos acabamentos podem ser realizados a partir da modificação dos grupos  $-OH$ , por meio de oxidação (KHATRI *et al.*, 2018), esterificação (BANSODE *et al.*, 2019), eterificação (LI *et al.*, 2018), silanização (MONTEIRO *et al.*, 2014), carboximetilação (WANG *et al.*, 2019), dentre outros.

Estas modificações permitirão que a superfície do tecido se torne mais reativa, proporcionando a inserção de novos produtos. Dessa forma, moléculas ativas podem ser inseridas, concedendo biofunção ao tecido e oferecendo benefícios diretos ao seu usuário, tornando o tecido de algodão ainda mais competitivo no mercado, agregando a ele um alto valor (AZIZI *et al.*, 2019).

## 4.2 TÊXTEIS BIOFUNCIONAIS

Com uma tendência crescente da tecnologia, a indústria têxtil mundial encontrou recentemente aplicações modernas em vários campos. A fabricação de estruturas têxteis de alto valor agregado e produtos funcionais, tais como têxteis inteligentes, têxteis de proteção, têxteis médicos e especialmente os têxteis cosméticos ou cosmetotêxteis, são exemplos de aplicações modernas na área (SPECOS, *et al.*, 2010; AZIZI *et al.*, 2019).

Historicamente, o termo "têxteis biofuncionais" referia-se geralmente a apenas têxteis antimicrobianos, porém com as necessidades das pessoas em crescimento e o avanço tecnológico, esse campo científico vem sendo desenvolvido, e novas funções estão sendo difundidas em têxteis (SPECOS, *et al.*, 2010). Atualmente o termo é usado como substituto dos cosmetotêxteis, pois é mais abrangente (LIU; SUN, 2011).

Ao se tratar de novas tecnologias e metodologias inovadoras, há um crescimento da funcionalização de bioativos. Atualmente o termo "têxteis biofuncionais" inclui o desenvolvimento e crescimento celular (AZIZI *et al.*, 2019), biodeteção, benefícios cosméticos (MIRAFTAB *et al.*, 2001; ALONSO *et al.*, 2016), e também biossensores (BATTISTA *et al.*, 2017), transportadores de catalisadores e suturas, levando à promoção da saúde humana e melhoria da qualidade de vida (LIU; SUN, 2011).

Dessa forma, estes materiais têxteis modificados quando em contato com o corpo humano e pele são projetados para transferir diretamente um material ativo para fins cosméticos e médicos (ALONSO *et al.*, 2016; YOKOTA; KITAOKA; WARIISHI, 2008). O princípio de funcionamento dos têxteis biofuncionais acontece por meio da liberação de bioativos, na maioria das vezes controlada, presentes nos compostos complexados no substrato têxtil (CHAN *et al.*, 2013).

Como características dos compostos bioativos geralmente presentes nos têxteis biofuncionais inclui-se uma pele gradualmente perfumada, hidratada, sem rugas, refrescada, relaxada, revitalizada, protegida contra os raios UV, protegida de insetos, melhoramento de cicatrização e antimicrobiano (ALONSO *et al.*, 2016; AZIZI *et al.*, 2019).

Para que essas propriedades possam ter função na pele, é necessário que os agentes aplicados na superfície do tecido, façam a complexação do bioativo e a liberação na pele, trazendo benefícios ao usuário (ALONSO *et al.*, 2016). Como exemplo desses agentes tem-se as microcápsulas (HOSSAIN *et al.*, 2016), nanopartículas (ATTIA *et al.*, 2017), redes metal-orgânicas (MOFs) (WYSZOGRODZKA *et al.*, 2016), lipossomos (RUBIO *et al.*, 2010) e Ciclodextrinas (LOFTSSON; SAOKHAM; COUTO, 2019).

Dentre esses, a Ciclodextrinas (CDs) são uma classe importante de oligossacarídeos de formato tronco-cônico e de compostos sustentáveis

provenientes de fontes renováveis (CRINI, 2014). As CDs são amplamente empregadas na indústria farmacêutica, cosmética, alimentícia e vem sendo cada vez mais utilizada na indústria têxtil, pois são capazes de encapsular substâncias bioativas possibilitando o desenvolvimento de novos acabamentos e produzir tecidos com novas aplicações (BILENSOY, 2011; CRINI, 2014).

### 4.3 CICLODEXTRINAS

A aplicação das CDs na indústria é muito diversificada e vem sendo utilizada na indústria farmacêutica, têxtil, alimentícia e até de cosméticos. As CDs têm um papel significativo na indústria têxtil, pois podem ser usadas para: remover os agentes tensoativos a partir do material têxtil lavado (BHASKARA-AMRIT; AGRAWAL; WARMOESKERKEN, 2011), como agentes de nivelamento em tingimento (SA; SOARES, 2008) e nos acabamentos têxteis (CRUPI *et al.*, 2007), podendo ser consideradas como uma nova classe de substâncias auxiliares na indústria têxtil (GRIGORIU; LUCA; GRIGORIU, 2007; BILENSOY, 2011).

Com relação à obtenção das ciclodextrinas, estas são logradas a partir da degradação enzimática do amido contido principalmente em batatas, milho e arroz, afirma Loftsson e Duchene (2007). Sendo assim, as CDs são oligossacarídeos cíclicos, compostas por unidades de glicose, que unidas originam estruturas cíclicas tronco-cônicas, capazes de solubilizar-se em meio aquoso e encapsular no seu interior moléculas hidrofóbicas (RASHEED, 2008; ANDREAUS *et al.*, 2010).

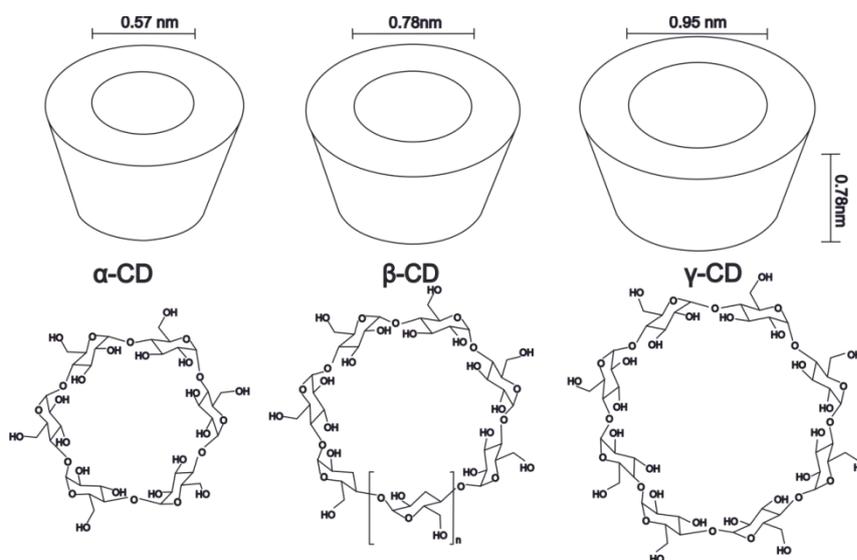
No que diz respeito estrutura e orientação dos grupos hidroxílicos das CDs, são compostas de grupos hidroxila primárias (C6) e secundários (C2 e C3), sendo que os grupos primários estão localizados na extremidade dos anéis das CDs e os grupos secundários situados na borda externa do anel, o oxigênio tipo éter e os grupos de hidrogênio (C3) e (C5) são polares dentro do tronco das CDs (AMIRI; AMIRI, 2017). O resultado desse tipo de estrutura representa a cavidade polar interna, que fornece a matriz lipofílica e a parte externa hidrofílica, como já mencionado anteriormente (AMIRI e AMIRI, 2017; ARUN *et al.*, 2008; ANDREAUS *et al.*, 2010).

A variedade de oligossacarídeos cíclicos naturais ou semi-sintéticos é limitada e as CDs mais importantes são as  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ -CDs, que possuem 6, 7 e 8 monômeros

de glicose, respectivamente (REKHARSKY, 1998; VYAS, SARAF e SARAF, 2008; ARUNKUMAR *et al.*, 2005; AZIZI, *et al.*, 2019). Sendo dentre as CD naturais, a  $\beta$ -CD é a mais utilizada, apresentando capacidade de complexação de um elevado número de fármacos hidrófobos, além de estar disponível em elevadas quantidades (OLIVEIRA *et al.*, 2009; SINGH *et al.*, 2017).

A Figura 4 mostra a estrutura química das CD:  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ .

**Figura 4-** Estruturas das  $\alpha$ -,  $\beta$ - e  $\gamma$ - CDs



**Fonte:** Adaptado de Voncina e Marechal, 2005.

Já ao se tratar da estequiometria do complexo de inclusão, são considerados quatro tipos mais comuns de complexo nas CDs: substrato com 1:1, 1:2, 2:1 e 2:2, dependendo do tamanho e aspecto estrutural do substrato em relação à cavidade da CDs (TAKAHASHI, 2013). Permitindo assim a formação de complexos de inclusão estáveis amplamente utilizadas nas indústrias farmacêuticas (CUNHA-FILHO; SÁ-BARRETO, 2007; BILENSOY, 2011), agroquímica (ARUN *et al.*, 2008), alimentícia (CRINI, 2014) e cosmética (MORAIS; VEIGA, 2002) e na indústria têxtil (CAMPOS *et al.*, 2019).

#### 4.4 APLICAÇÃO DE CICLODEXTRINA EM SUBSTRATO TÊXTEL

Em relação às interações que acontecem entre a  $\beta$ -CD e o tecido de algodão que representam o trabalho em questão, estas podem ser por meio de um processo de esterificação (ABDEL-HALIM, *et al.*, 2011).

Reações de esterificação são amplamente empregadas em uma variedade de indústrias químicas, é uma reação de substituição nucleofílica do grupamento acila catalisada por ácido mineral, envolvendo um ácido carboxílico e um álcool (CALVALCANTE *et al.*, 2015; ABDEL-HALIM *et al.*, 2011). Como se pode ver na Figura 5.

**Figura 5-** Reação de Esterificação



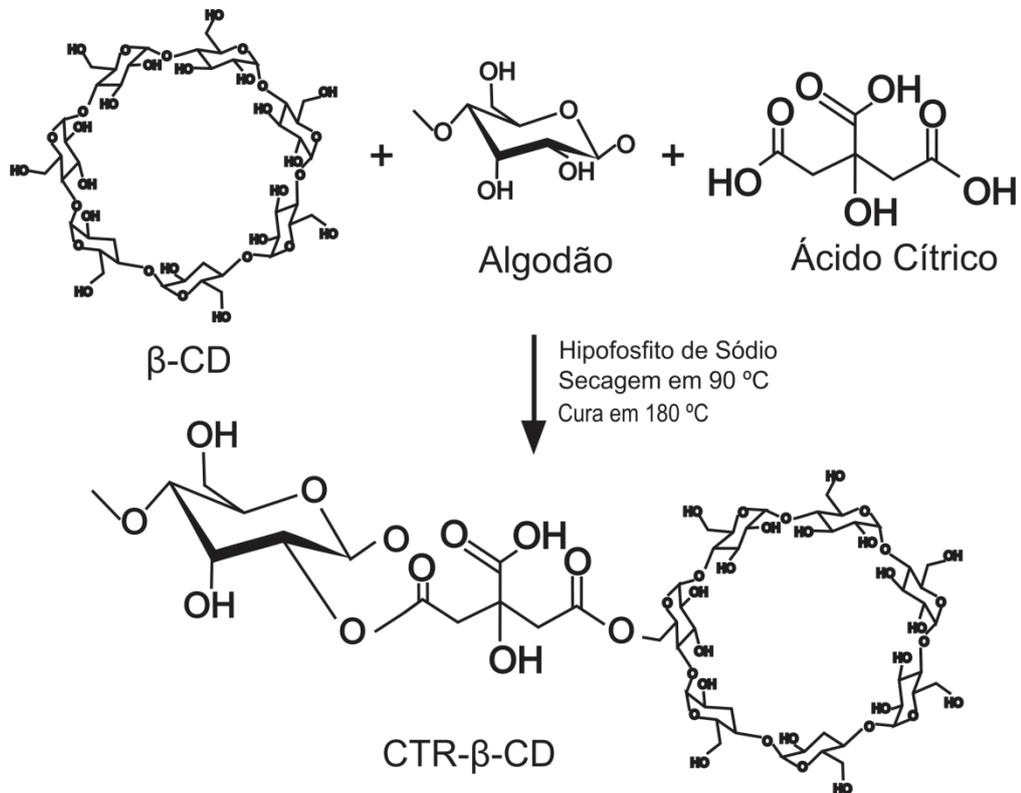
**Fonte:** Adaptado de Cavalcante, *et al.*, 2015.

O procedimento geralmente usa ácidos minerais como catalisador, dessa forma, o catalisador precisa ser removido ao final da reação por lavagem aquosa alcalina, para neutralização (CALVALCANTE *et al.*, 2015; GORDON; HSIEH, 2007).

O ácido mineral protona o átomo de oxigênio do grupo carbonila, tornando o ácido carboxílico muito mais reativo ao ataque nucleofílico do álcool e dando origem a um intermediário tetraédrico (CALVALCANTE *et al.*, 2015). A partir disso, acontece a transição de um próton de um oxigênio para outro acarretando um segundo intermediário tetraédrico e converte o grupo -OH em um grupo de saída, culminando na perda de um próton que regenera o catalisador ácido, originando o éster (SOLOMONS; FRYHLE, 2009; CALVALCANTE, *et al.*, 2015).

Segundo Zhao *et al.* (2017), pode-se observar que na Figura 6 os grupos carboxílicos (-COOH) do ácido cítrico são capazes de formar ligações éster (-COO-) com grupos hidroxila (-OH) tanto de tecido de algodão como de β-CD por meio da reação de esterificação.

**Figura 6** - Mecanismo de esterificação do tecido de algodão modificado com  $\beta$ -CD.



Fonte: Adaptado de Zhao *et al.*, 2017.

Dessa forma, se dá a aplicação das CDs na superfície do tecido de algodão por meio de uma síntese direta, chamado de acabamento têxtil. O substrato passa por uma mudança na superfície que pode o transformar futuramente em tecidos funcionalizados após a complexação das CDs (ZHAO *et al.*, 2017). Tecidos funcionalizados contêm funções extras quando comparados com têxteis sem acabamentos.

Dessa forma, para que o tecido possa obter uma nova função, é necessário que a  $\beta$ -CD seja complexada com ativos que incluem vitamina E, citronela (PINHO *et al.*, 2014), prata (CELEBIOGLU *et al.*, 2019) e Eritrosina B (FREITAS *et al.*, 2019), por exemplo, que transformam o tecido em biofuncional.

#### 4.5 ERITROSINA

Alguns corantes são comumente usados em remédios, alimentos, cosméticos, na odontologia (WOOD *et al.*, 2006) e nas indústrias têxteis (KIM; MICHIELSEN,

2015; FREITAS *et al.*, 2019). Esses corantes são conhecidos como xantenos, uma classe de corantes utilizados na terapia fotodinâmica (TFD), alguns exemplos são: o rosa bengala, o floxina B e o eritrosina B (KIM; MICHIELSEN, 2015).

Atualmente, terapias alternativas baseadas em nanotecnologia foram desenvolvidas para reduzir a toxicidade em epidermes saudáveis, efeitos sistêmicos e resistência a múltiplas drogas (FREITAS *et al.*, 2019). A terapia fotodinâmica (TFD) e a inativação fotodinâmica de microrganismos (IFDM) surgiram recentemente como uma possível alternativa para uma abordagem no tratamento antimicrobiano e antifúngica (FRACALOSSO *et al.*, 2016).

A IFDM é uma técnica que emprega a combinação de uma fonte de luz visível em um comprimento de onda apropriado, um corante não tóxico (ou fotossensibilizador, FS) e o oxigênio molecular (MICHIELSEN, 2015; FRACALOSSO *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2018). Essa interação entre a luz e o FS resulta na produção de espécies reativas de oxigênio (EROS), especialmente o oxigênio singleto ( $^1\text{O}_2$ ), que desencadeia a inativação e a morte celular, sendo altamente eficaz na erradicação, *in vitro*, de fungos e microrganismos (NAVASCONI *et al.*, 2017; FRACALOSSO *et al.*, 2016; KIM; MICHIELSEN, 2015; SILVA *et al.*, 2018).

A IFDM a partir de corantes xantenos induz a fotoinativação de espécies de bactérias patogênicas, devido à formação de oxigênio singleto ( $^1\text{O}_2$ ) reativo, que oxida moléculas biológicas (KIM; MICHIELSEN, 2015). O  $^1\text{O}_2$  produzido por estas reações fotoquímicas reage com membranas celulares biológicas, particularmente com lipídios em microrganismos para induzir a foto-oxidação, o que leva ao dano celular, resultando em um aumento na permeabilidade da membrana (KIM; MICHIELSEN, 2015; NAVASCONI *et al.*, 2017).

A eritrosina B é um FS promissor para a IFDM devido suas características físico-químicas e fotosísicas favoráveis. Em pH fisiológico a ERY apresenta-se na forma dianiônica, possui alta absorvidade na região visível ( $\lambda = 532\text{nm}$ ;  $\epsilon = 96,6 \times 10^3 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ) e elevado rendimento quântico de oxigênio singleto ( $\phi\Delta^1\text{O}_2 = 0,63$ ) (BACELLAR *et al.*, 2019; FREITAS *et al.*, 2019)

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 MATERIAIS

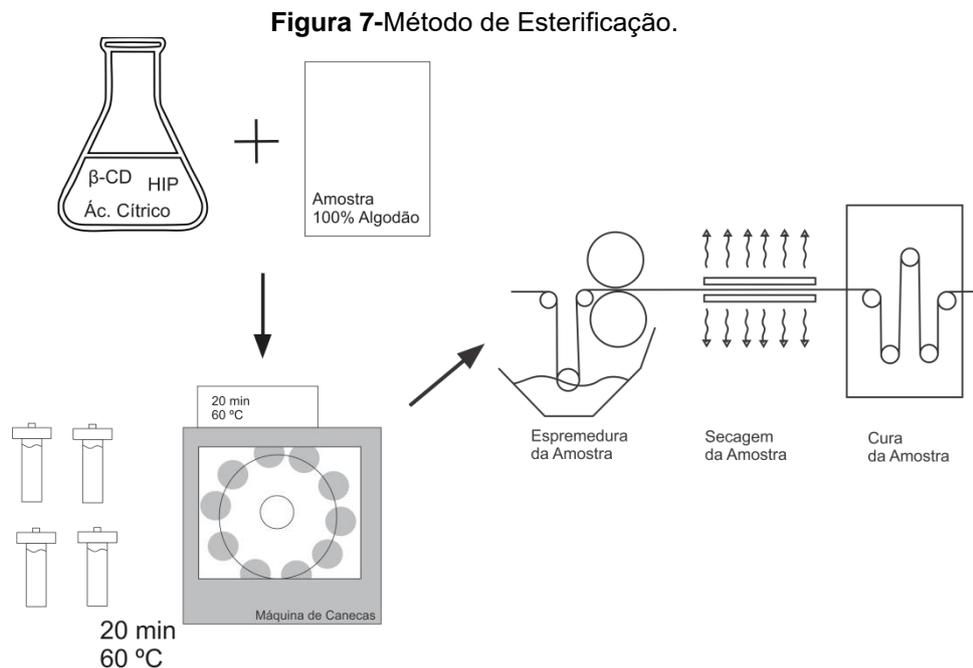
Foram utilizados como materiais a  $\beta$ -CD (Sigma Aldrich), ácido cítrico (Synth), hipofosfito de sódio (Synth), detergente não-iônico (Golden Tehcnology), hidróxido de sódio (Synth), Eritrosina B (Sigma Aldrich), entre outros produtos de grau analítico. Foi utilizado um tecido com composição de 100% algodão, purgado, alvejado e de gramatura de  $228 \pm 5 \text{ g/m}^2$ .

### 5.2 MÉTODO DE IGUALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

Todas as amostras de tecido de algodão com dimensões de 3x8cm, primeiramente passaram por uma lavagem para limpeza do tecido na Máquina de Canecas (Kimak AT1-SW), com detergente não iônico 2 g/L por 20 minutos a 60°C e secas em Rama (Mathis) por 3 minutos a 150°C, adaptados da norma AATCC 190.

### 5.3 MÉTODO DE ESTERIFICAÇÃO

O processo de inserção de  $\beta$ -CD foi feita utilizando 80 g/L de  $\beta$ -CD, 80 g/L de ácido cítrico e 20 g/L de hipofosfito de sódio em uma relação 1:20 (massa de tecido:volume de solução), por 20 minutos a 60 °C. Em seguida, as amostras passaram pelo processo *Pad-cure*, em *Foulard* vertical (Texcontrol), com pick-up de 100% e cura em rama, nos seguintes tempos e temperatura: 3, 5, 10, 15, 20, 30 e 40 minutos, em 170 °C (ABDEL-HALIM e AL-DEYAB, 2014). Como pode ser visto no esquema da Figura 7.



**Fonte:** Autora, 2019.

## 5.5 MÉTODO DE COMPLEXAÇÃO DA ERITROSINA B

O processo de complexação da Eritrosina B na superfície do tecido foi feito por meio de um tingimento. Dessa forma, o tingimento em questão foi realizado por esgotamento, na máquina de canecas (Kimak AT1-SW) com relação 1:30 (massa de tecido:volume da solução), em um processo *all-in*, com concentração de corante entre de 0,25% sobre a massa do tecido, pH levemente alcalino ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) e temperatura de 80 °C por 45 minutos.

## 5.6 METODOS DE AVALIAÇÃO

### 5.6.1 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER DE REFLEXÃO TOTAL ATENUADA (FTIR-ATR)

A configuração experimental para aquisição de espectros pode ser feita de diferentes maneiras, dentre as mais utilizadas está a reflexão total atenuada (ATR), onde a amostra é colocada sobre um elemento de reflexão interna com índice de

refração maior que o do material, induzindo a reflexão interna total da radiação incidente, a qual é atenuada. O equipamento empregado nesta análise foi o FTIR (Frontier - Perkin Elmer), com resolução de  $1\text{ cm}^{-1}$  e 64 acumulações, e a técnica selecionada foi a de refletância total atenuada (ATR) na faixa do infravermelho médio compreendida entre  $650$  e  $4.000\text{ cm}^{-1}$ , na Universidade Estadual de Maringá.

Esta análise de FTIR-ATR foi realizada nas amostras de tecido de algodão sem tratamento e nas amostras de tecido de algodão com a síntese direta *via* esterificação da  $\beta$ -CD.

### 5.6.2 MICROSCÓPIO ELETRÔNICO DE VARREDURA (MEV)

A morfologia do tecido de algodão foi avaliada com microscópio eletrônico de varredura, JEOL-JSM 5610, para as amostras de tecido com tratamento de aplicação das CDs, na Universidade Estadual de Maringá. Foi realizada nas amostras de tecido de algodão sem tratamento e nas amostras de tecido de algodão com a síntese direta *via* esterificação da  $\beta$ -CD.

### 5.6.3 ÍNDICE DE BRANCURA (CIE WI)

De acordo com a necessidade de se criar uma forma mais precisa para avaliar as cores foi criado o CIE (Comission Internationale de L'Eclairage) que mede coordenadas retangulares, os valores referentes a claridade e variam de 0 a 100, sendo 0 a cor preta e 100 a cor branca. A análise foi feita no campus da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Apucarana.

Sendo assim, a análise do índice de brancura (CIE WI) foi realizada nas amostras de tecido de algodão com a síntese direta *via* esterificação da  $\beta$ -CD, no espectrofotômetro de remissão Spectrum 550, Datacolor, com abertura de 6 mm, observador  $10^\circ$  sob o iluminante  $D_{65}$ .

### 5.6.4 ANÁLISE COLORIMÉTRICA

Para as cores, Kubelka-Munk possui uma teoria que se baseia na variação da refletância ao longo espectro visível que cada objeto apresenta por meio de um

parâmetro K/S, possibilitando fazer o cálculo algébrico das propriedades ópticas e o desenvolvimento de gráficos que facilitam a compreensão dela. Segunda Kubelka (1948), uma vez que o parâmetro K/S de um material esteja determinado, o comportamento óptico deste material, e suas derivações como cor, força e intensidade, podem ser estimados em qualquer espessura e fundo experimental (SHEN; LI; HE, 2016; ARES *et al.*, 2014), para que o parâmetro K/S seja definido é utilizado a equação (1) abaixo.

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - R)^2}{2R} - \frac{(1 - R_0)^2}{2R_0} \quad (1)$$

Onde, R: é a fração decimal de refletância do substrato tinto; R<sub>0</sub>: é a fração decimal de refletância do substrato não tinto; S: é o coeficiente de espalhamento; K: é o coeficiente de absorção.

A partir disso, Kubelka-Munk ainda afirma que se pode definir as constantes de força colorística, intensidade de cor, fixação através das equações (2), (3) e (4) apresentadas abaixo.

$$Força(\%) = \left( \frac{K/S_{amostra}}{K/S_{padrão}} \right) \times 100 \quad (2)$$

$$Cor_{int} = \frac{100 - \%Força}{\%Força} \times 100 \quad (3)$$

$$Fixação(\%F) = \left( \frac{K/S_{padrão}}{K/S_{amostra}} \right) \times 100 \quad (4)$$

#### 5.6.5 ANÁLISE MICROBIOTA

Existem testes que avaliam a atividade antimicrobiana e eles se dividem em dois grupos, os testes qualitativos que permitem classificar qualitativamente o desempenho do têxtil e os testes quantitativos que permitem quantificar a redução

microbiana quando se encontra em contacto com o têxtil, a partir da contagem de colônias que aparecem nas placas (GUTAROWSKA e MICHALSKI 2012; MAGALHÃES, 2015).

Para avaliação da atividade microbiana foi utilizado o teste quantitativo, através de uma adaptação da norma ASTM E2149 – 13a: Método de Teste Padrão para Determinar a Atividade Antimicrobiana de Agentes Antimicrobianos em Condições de Contato Dinâmico. Foi avaliado o grau de inibição da proliferação de bactérias do tipo *Escherichia coli*. As amostras de tecido sem tratamento e tratadas com  $\beta$ -CD e eritrosina B foram dispostos em banhos de 50 mL de suspensão bacteriana, agitados por uma hora, com exposição a lâmpadas fluorescentes TLTRS40W-ELD-25, PHILIPS, potência de 40 W, tensão de 106 0,42 V, base G13, corrente de 2600 A, temperatura de cor 5000 K e eficiência luminosa de 25 lm/W.

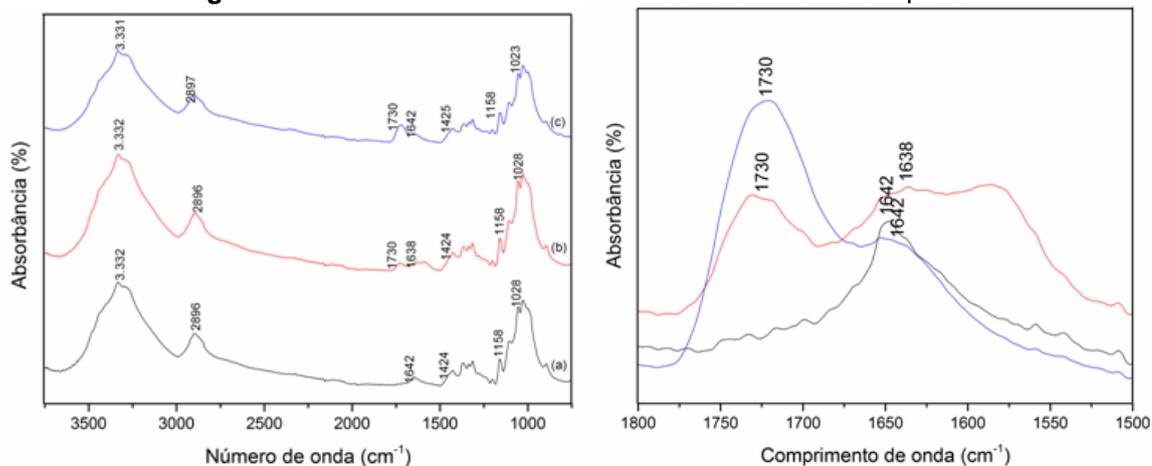
Logo depois esse banho foi diluído em uma concentração de  $10^{-4}$  g/ml e distribuído em 1 mL no centro de uma placa petri já preparado com ágar, sendo que o teste foi realizado em triplicata. As placas com as bactérias foram incubadas por 24h a 37°C e após esse período foi feito a contagem das colônias e a porcentagem de redução entre elas. A análise foi feita na Universidade Politécnica da Catalunha, campus Terrassa.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 6.1 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER DE REFLEXÃO TOTAL ATENUADA (FTIR-ATR)

Observa-se na Figura 8 (esquerda) as curvas dos espectros das amostras de: tecido de algodão (a), tecido tratado com  $\beta$ -CD e lavado em meio alcalino (b) e do tecido tratado com  $\beta$ -CD (c).

**Figura 8-**FTIR-ATR das amostras tratadas e sem tratar com  $\beta$ -CD



Fonte: Autora, 2019.

O espectro FTIR-ATR do algodão não modificado, curva (a), Figura 8, mostra que existem bandas da fibra de algodão como: a  $3.330\text{ cm}^{-1}$  devido à ligação O-H. A banda referente à ponte glicosídica  $\beta$  (1–4) pode ser identificada em  $1.158\text{ cm}^{-1}$  e a ligação C-O-C do anel piranose em  $1.030\text{ cm}^{-1}$ , de acordo com Vaz (2013).

A análise do espectro de absorção na região do infravermelho do algodão com a  $\beta$ -ciclodextrina, curva (c), evidenciou a existência de modos vibracionais característicos com banda próxima a  $3.300\text{ cm}^{-1}$  referente ao estiramento (OH), banda em  $2.930\text{ cm}^{-1}$  atribuída ao estiramento (C-H), em  $1.645\text{ cm}^{-1}$  referente à vibração C=C em anéis aromáticos e a banda próxima a  $1.030\text{ cm}^{-1}$  característica do estiramento (C-O-C), afirma Cotrim (2015).

Segundo Lopes e Fasio (2004) os picos de  $1.730\text{ cm}^{-1}$  são referentes a um éster formado, através da ligação com os grupos hidroxila da  $\beta$ -CD. Porém, segundo Medronho (2012), a banda de  $1.730\text{ cm}^{-1}$  também pode ser atribuída a um ácido carboxílico que formou uma ligação de éster com grupos hidroxila da CD e do algodão, observa-se também que as carbonilas da celulose podem existir em três formas: ésteres, ácido carboxílicos e ânions carboxilatos, no FTIR a banda de uma ligação de éster aparece próximo a  $1730\text{ cm}^{-1}$ , mas a banda de um ácido carboxílico também aparece na mesma região, assim não podemos afirmar com certeza que houve a formação de uma ligação de éster, como mostrado na Figura 8.

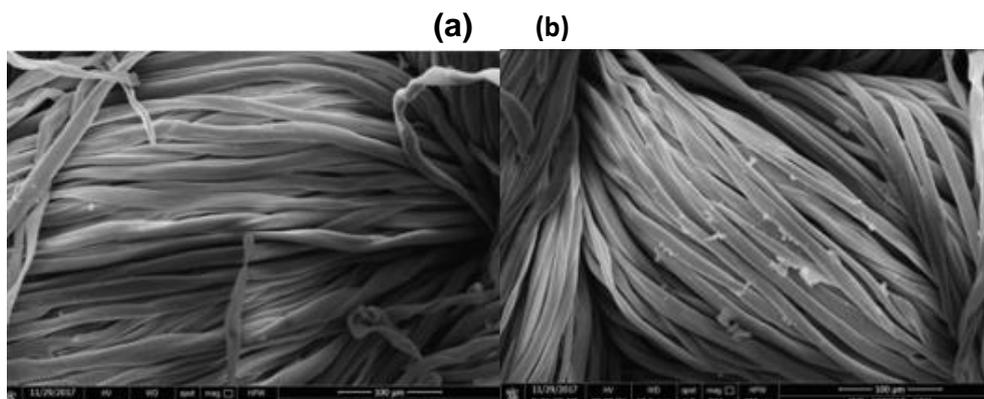
No entanto, podemos separar a banda do éster da banda do ácido carboxílico convertendo o ácido a um ânion carboxilato através de um banho alcalino (Figura 8, a direita). Como vemos na curva (b) um novo pico surge em  $1638\text{ cm}^{-1}$  confirmando

a existência dos ânions carboxilatos enquanto mantem a banda  $1730\text{ cm}^{-1}$  atribuída as ligações de éster entre a CD, o algodão e o ácido cítrico.

## 6.2 MICROSCOPIA ELETRÔNICO DE VARREDURA (MEV)

a Figura 9 apresenta as amostras de tecido de algodão sem e com tratamento com  $\beta$ -Ciclodextrina, (a) e (b), respectivamente, com ampliação de 841 vezes no MEV. Podem ser observadas nas micrografias presentes na Figura 9, a morfologia do algodão sem ser tratado, em que as fibras de algodão apresentam torções causadas pelo espirilamento de fibrilas de celulose como observado em Kan (2012),.

**Figura 9**-Algodão sem tratamento e algodão após a tratamento com  $\beta$ -CD, respectivamente.



Fonte: Autora, 2019.

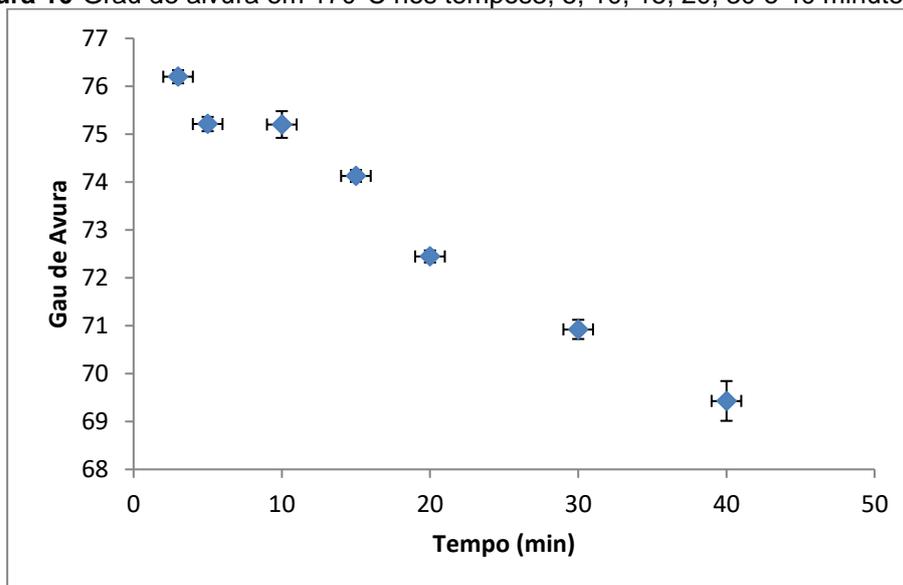
Segundo Pita (1996) a vista longitudinal do algodão mostra uma configuração de fita com torções e convulsões. A partir de exames microscópicos essas características são visíveis, juntamente com a parede primária e sua estrutura espiralada e lisa, observado na Figura 9 (a).

No caso da Figura 9 (b), é possível visualizar o surgimento de novos materiais na superfície do algodão, essa mudança acontece devido à presença de ciclodextrinas complexadas (SUNDRARAJAN *et al.*, 2012; ALZATE-SÁNCHEZ *et al.*, 2016).

### 6.3 ÍNDICE DE BRANCURA (CIE WI)

Para se obter um branco puro é necessário que o WI seja igual a 100, no entanto a partir de WI=70 o tecido já é considerado branco (SAEM, 2010). A Figura 10 apresenta o gráfico da média do grau de brancura nas amostras tratadas com  $\beta$ -Ciclodextrina de acordo com o tempo de cura de cada uma delas, 3, 5, 10, 15, 20, 30 e 40 minutos, na temperatura de 170°C.

**Figura 10**-Grau de alvura em 170°C nos tempos 3, 5, 10, 15, 20, 30 e 40 minutos.



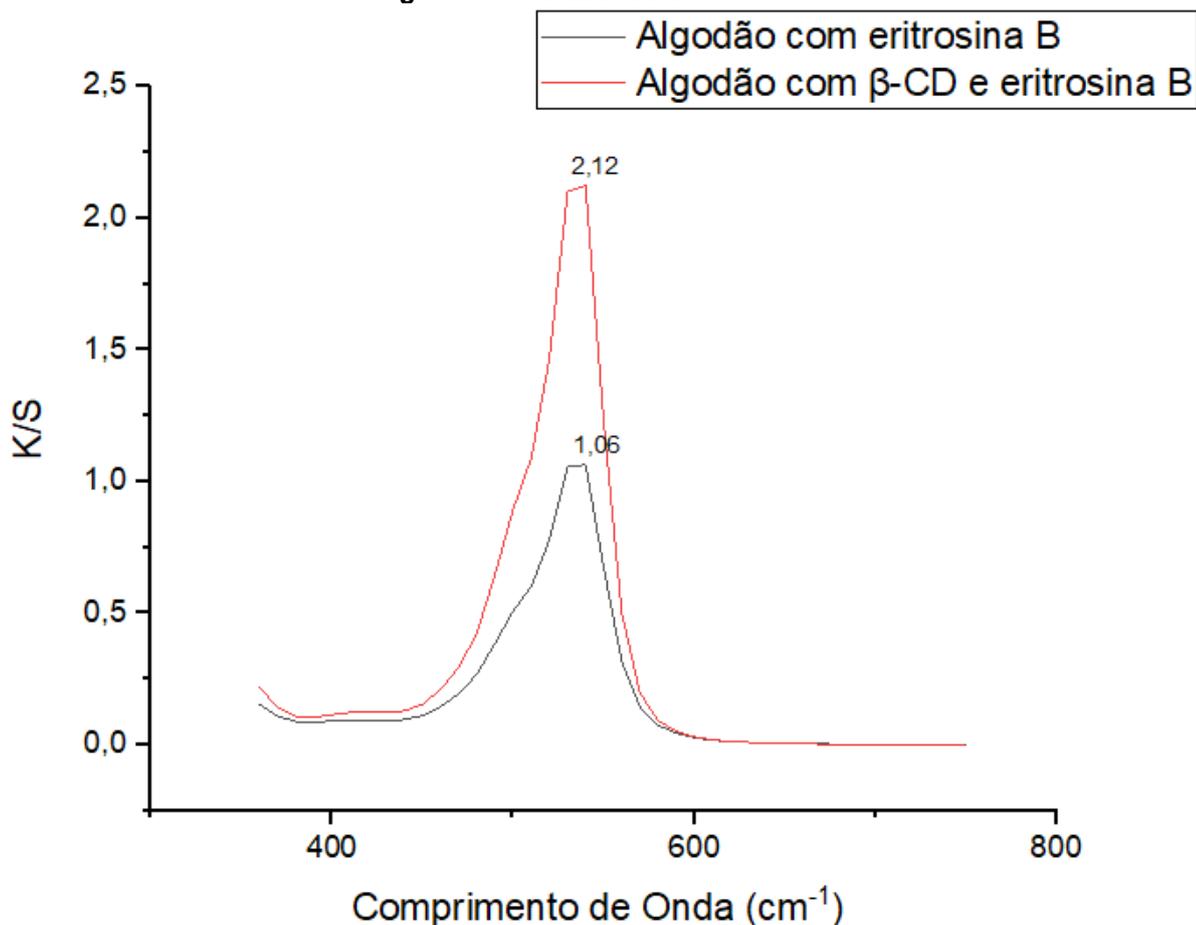
Fonte: Autora, 2019.

É observado na Figura 10 uma queda no índice de brancura de acordo com o tempo de cura na rama. De acordo com Lu (1999), a diminuição é exponencial e ocorre porque esses tecidos são tratados com ácido cítrico, que causam um amarelamento das amostras. Dessa forma, os primeiros tempos são melhores para a produção em escala, pois a cura acontece rapidamente e apresentam um índice de alvura maior interferindo menos na etapa do tingimento. Por essa razão, foi escolhido o tempo de cura de 3 min e temperatura de 170°C como tempo e temperatura padrão para todas as amostras do trabalho em questão.

#### 6.4 ANÁLISE COLORIMÉTRICA

A Figura 11 representa o parâmetro K/S em relação ao comprimento de onda de duas amostras de tecido de algodão tintas com eritrosina B, uma amostra com mudança superficial via esterificação da  $\beta$ -Ciclodextrina e outra apenas com a aplicação do corante.

Figura 11-Constante K/S.



Fonte: Autora, 2019.

A partir disso dos dados presentes na Figura 11, tem-se que a força colorística é de 52,3%, uma intensidade de cor de 91,2% e uma fixação de 50% quando comparados a amostra de tecido apenas tinto com eritrosina B e a amostra de tecido tratado com  $\beta$ -Ciclodextrina e complexado com eritrosina B (SANTOS; BARCELLOS; PICCOLI, 2017). Dessa forma, observa-se que a amostra tratada com  $\beta$ -Ciclodextrina possui uma força colorística maior e intensidade de cor mais significativa e uma melhor fixação. Dessa forma, quando se emprega  $\beta$ -Ciclodextrina no processo de tingimento há uma redução da quantidade de corante utilizado para se obter a mesma intensidade de cor e força colorística que o tecido sem a modificação superficial.

## 6.5 ANÁLISE MICROBIOTA

Testes quantitativos foram realizadas em uma concentração de  $10^{-4}$  g/L e as Figuras 12, 13 e 14, representam uma placa sem amostra de tecido, uma sem tratamento e uma com tecido tratado com  $\beta$ -Ciclodextrina e Eritrosina B.

**Figura 12-** Placas petri sem amostra.



**Fonte:** Autora, 2019.

Os testes quantitativos são mais dispendiosos, mas são aplicados em todos os têxteis indicando o nível bactericida do antimicrobiano e permitem avaliar diferentes níveis de tratamento na mesma amostra através da contagem de números de colônias (RISTIĆ *et al.* 2011; LAGEMAAT *et al.*, 2017; GUZIŃSKA *et al.*, 2018; MAGALHÃES, 2015). Dessa forma, as amostras em triplicata deram uma média de de 153 colônias para as placas sem amostra de tecido, 130 para as com tecido sem tratamento e 3 para as com tecido tratado com  $\beta$ -Ciclodextrina e Eritrosina B.

Já era esperado uma grande quantidade de colônias de bactérias no tecido de algodão, pois sua origem vegetal torna-o mais propenso ao ataque de microrganismos, uma vez que apresenta uma estrutura hidrófila que retém água, oxigênio e nutrientes, criando o ambiente ideal para a proliferação dos mesmos (MANGAT, 2009; GUTAROWSKA e MICHALSKI, 2012; BORYO, 2013).

A partir disso, observa-se uma redução da proliferação da bactéria nas placas com tecido tratado com  $\beta$ -Ciclodextrina complexada com Eritrosina B, evidenciando um efeito antimicrobiano. Primeiramente observa-se uma redução de aproximadamente 15% em comparação ao número de colônias da amostragem sem tecido e com tecido não tratado. Porém, quando se tem a aplicação da  $\beta$ -Ciclodextrina complexada com eritrosina B, os números de colônias continuam a baixar, chegando em uma diminuição de aproximadamente 98% quando comparado ao tecido sem tratamento, comprovando a eficácia do complexo  $\beta$ -Ciclodextrina e Eritrosina B.

Dessa forma, o complexo  $\beta$ -Ciclodextrina e Eritrosina B aplicado na superfície do tecido de algodão, garante sua biofunção por meio de propriedades antibacterianas, podendo assim, ser utilizado como curativo auxiliando na cicatrização de feridas e impedindo contaminação externa.

## 7 CONCLUSÃO

Os têxteis são de suma importância no cotidiano de todas as pessoas e a aplicação de ciência e tecnologia cada dia mais se desenvolve para atender as mais diversas necessidades. Dessa forma, o estudo desse presente trabalho foi efetivo na formação da síntese direta via esterificação no tecido de algodão com  $\beta$ -Ciclodextrina, garantindo através de testes como FTIR-ATR e MEV a mudança superficial.

A partir disso, a complexação por meio do tingimento com o corante eritrosina B apresentou resultados de força colorística e intensidade de cor esperadas. Com isso, as amostras com maior intensidade de cor e força colorísticas apresentaram um poder antimicrobiano mais efetivo. Esse fato, confirma que o corante possui realmente propriedades antimicrobianas e juntamente com a  $\beta$ -Ciclodextrina, modificou a superfície do algodão.

Sendo assim, conclui-se que foi possível o desenvolvimento de um tecido de algodão biofuncional com propriedades fotodinâmicas, que culminou em um material com propriedades antimicrobianas. Dessa forma, quando utilizado como curativo, o tecido biofuncional antimicrobiano, tendo o poder de auxiliar na cicatrização de feridas e impedir contaminação externa.

## REFERENCIAS

ABDEL-HALIM, E.s. et al. Antimicrobial activity of monochlorotriazinyl- $\beta$ -cyclodextrin/chlorohexidin diacetate finished cotton fabrics. **Carbohydrate Polymers**, v. 86, n. 3, p.1389-1394, ago. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.06.039>.

ABDEL-HALIM, E.s.; ALANAZI, Humaid H.; AL-DEYAB, Salem S.. Utilization of olive tree branch cellulose in synthesis of hydroxypropyl carboxymethyl cellulose. **Carbohydrate Polymers**, v. 127, p.124-134, ago. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.03.037>

ALONSO, C. et al. Skin penetration and antioxidant effect of cosmeo-textiles with gallic acid. **Journal Of Photochemistry And Photobiology B: Biology**, [s.l.], v. 156, p.50-55, mar. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2016.01.014>.  
AMIRI, Sahar; AMIRI, Sanam. **Cyclodextrins: Properties and Industrial Applications**. John Wiley&Sons, 2017. 320 p.

ANDREAUS, Jürgen et al. Aplicação de ciclodextrinas em processos têxteis. **Química Nova**, [s.l.], v. 33, n. 4, p.929-937, 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422010000400031>.

ARES, M.c. Zurita et al. An easy method to estimate the concentration of mineral pigments in colored mortars. **Dyes And Pigments**, [s.l.], v. 101, p.329-337, fev. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dyepig.2013.10.001>.

Astm E2149-13a, Standard Test Method for Determining the Antimicrobial acTivity of Antimicrobial Agents Under Dynamic Contact Conditions [www.astm.org](http://www.astm.org), Astm International, West Conshohocken, Pennsylvania, 2013.

ATTIA, Nour F. et al. Synthesis of effective multifunctional textile based on silica nanoparticles. **Progress In Organic Coatings**, [s.l.], v. 106, p.41-49, maio 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.porgcoat.2017.02.006>.

AZIZI, Nedra et al. New  $\beta$ -Cyclodextrin-Based Microcapsules for Textiles Uses. **Fibers And Polymers**, [s.l.], v. 20, n. 4, p.683-689, abr. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12221-019-7289-5>.

BACELLAR, Isabel O.I. et al. Oxygen distribution in the fluid/gel phases of lipid membranes. **Biochimica Et Biophysica Acta (bba) - Biomembranes**, v. 1861, n. 4, p.879-886, abr. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bbamem.2019.01.019>.

BANSODE, Archana S. et al. Sonochemical enzymatic esterification of oleic acid and tri-ethanolamine for a fabric softener in textile application. **Chemical Engineering And Processing - Process Intensification**, [s.l.], v. 137, p.128-136, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cep.2019.02.013>.

BATTISTA, Edmondo et al. Enzymatic sensing with laccase-functionalized textile organic biosensors. **Organic Electronics**, [s.l.], v. 40, p.51-57, jan. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.orgel.2016.10.037>.

BHASKARA-AMRIT, Usha Rashmi; AGRAWAL, Pramod B.; WARMOESKERKEN, Marijn M.c.g.. APPLICATIONS OF  $\beta$  -CYCLODEXTRINS IN TEXTILES. **Autex Research Journal**, S.d., v. 11, n. 4, p.94-101, dez. 2011.

Bilensoy, E.e., 2011. Cyclodextrins in Pharmaceuticals, Cosmetics, and Biomedicine: Current and Future Industrial Applications. John Wiley& Sons.

BORYO DE. The Effect of Microbes on Textile Material: A Review on the Way-Out So Far. *Int J Eng Sci*. 2013; 2: 9–13.

BURKINSHAW, Stephen M.. **Physico-chemical Aspects of Textile Coloration**. India: Society Of Dyers And Colorists, 2016.

CALVALCANTE, Phelipe Matheus Moraes et al. Proposta de preparação e caracterização de ésteres: um experimento de análise orgânica na graduação. **Educación Química**, [s.l.], v. 26, n. 4, p.319-329, out. 2015. Universidad Nacional Autonoma de Mexico. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eq.2015.07.003>.

CAMPOS, Caio A. et al. Anti-hyperalgesic and anti-inflammatory effects of citral with  $\beta$ -cyclodextrin and hydroxypropyl- $\beta$ -cyclodextrin inclusion complexes in animal models. **Life Sciences**, [s.l.], v. 229, p.139-148, jul. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lfs.2019.05.026>.

CELEBIOGLU, Asli et al. One-step green synthesis of antibacterial silver nanoparticles embedded in electrospun cyclodextrin nanofibers. **Carbohydrate Polymers**, v. 207, p.471-479, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.12.008>.

CHAN, Ka Yiu et al. Ultrasensitive detection of E. coli O157: H7 with biofunctional magnetic bead concentration via nanoporous membrane based electrochemical immunosensor. **Biosensors And Bioelectronics**, v. 41, p.532-537, mar. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bios.2012.09.016>.

CRINI, Grégorio. Review: A History of Cyclodextrins. **Chemical Reviews**, [s.l.], v. 114, n. 21, p.10940-10975, 23 set. 2014. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/cr500081p>.

CRUPI, V. et al. UV–vis and FTIR–ATR spectroscopic techniques to study the inclusion complexes of genistein with  $\beta$ -cyclodextrins. **Journal Of Pharmaceutical And Biomedical Analysis**, v. 44, n. 1, p.110-117, maio 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpba.2007.01.054>.

CUNHA FILHO, Marcílio Sérgio Soares da; SÁ-BARRETO, L.C.L. Utilização de ciclodextrinas na formação de complexos de inclusão de interesse farmacêutico. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, Santiago de Compostela, Espanha, v. 28, n. 1, p.1-9, 2007.

DENTER, U.; Schollmeyer, E. J Inclusion Phenom Macrocyclic Chem 1996, 25, 197.  
FIGINI, M. (1982). Cellulose and other natural polymer systems, *Biogenesis, structure and degradation*, 243–271, Plenum Press, New York.

FRACALOSSI, Camila et al. Singlet oxygen production by combining erythrosine and halogen light for photodynamic inactivation of *Streptococcus mutans*. **Photodiagnosis And Photodynamic Therapy**, v. 15, p.127-132, set. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pdpdt.2016.06.011>.

FREITAS, Camila Fabiano de et al. PEG-coated vesicles from Pluronic/lipid mixtures for the carrying of photoactive erythrosine derivatives. **Colloids And Surfaces B: Biointerfaces**, v. 175, p.530-544, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfb.2018.12.031>.

GORDON, S.; HSIEH, Y-l.. **Cotton: Science and technology**. Cambridge, England: Woodhead Publishing Limited, 2007. 569 p.

GRIGORIU, Ana-maria; LUCA, Constantin; GRIGORIU, Aurelia. Cyclodextrins Applications In The Textile Industry. **Cellulose Chemistry And Technology**, Iasi, Romania, v. 1, n. 42, p.103-112, set. 2007.

GUTAROWSKA B, Michalski A. Microbial Degradation of Woven Fabrics and Protection Against Biodegradation. Woven Fabrics. INTECH Open Access Publisher; 2012. p. 267– 96.

GUZIŃSKA, Krystyna et al. Anti-bacterial materials based on hyaluronic acid: Selection of research methodology and analysis of their anti-bacterial properties. **Materials Science And Engineering: C**, [s.l.], v. 93, p.800-808, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.msec.2018.08.043>.

HAMBY, Dame Scott. **The American Cotton Handbook: A Reference and Text for the Entire Cotton Textile Industry**. 3. ed. A Universidade da Virgínia: Interscience Publishers, 1965. 1240 p.

HOSSAIN, Mirza Akram et al. Econazole imprinted textiles with antifungal activity. **European Journal Of Pharmaceutics And Biopharmaceutics**, [s.l.], v. 101, p.137-144, abr. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejpb.2016.02.003>.

HUWYLER, H.r.; FRANZ, G.; MEIER, H.. Changes in the Composition of Cotton Fibre Cell Walls during Development. **Planta**, Fribourg, Switzerland, n. 146, p.635-642, 1979.

KHATRI, Jayraj et al. Advanced oxidation processes based on zero-valent aluminium for treating textile wastewater. **Chemical Engineering Journal**, [s.l.], v. 348, p.67-73, set. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2018.04.074>.

KIM, Joo Ran; MICHIELSEN, Stephen. Photodynamic activity of nanostructured fabrics grafted with xanthene and thiazine dyes against opportunistic fungi. **Journal Of Photochemistry And Photobiology B: Biology**, [s.l.], v. 150, p.50-59, set. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2015.04.019>.

LAGEMAAT, Marieke van de et al. Comparison of methods to evaluate bacterial contact-killing materials. **Acta Biomaterialia**, [s.l.], v. 59, p.139-147, set. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actbio.2017.06.042>.

LI, Wei et al. Double etherification of corn starch to improve its adhesion to cotton and polyester fibers. **International Journal Of Adhesion And Adhesives**, [s.l.], v. 84, p.101-107, ago. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2018.03.001>.

LIN, Chen-hsing et al. Use of  $\beta$ -cyclodextrin bonded phase with s-triazine moiety in the spacer for separation of aromatic carboxylic acid isomers by high-performance liquid chromatography. **Analytica Chimica Acta**, v. 576, n. 1, p.84-90, ago. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aca.2006.06.025>.

LIN, Ching-erh et al. Chemically Bonded Cyclodextrin Silica Stationary Phases for Liquid Chromatographic Separation of Some Disubstituted Benzene Derivatives. **Journal Of Chromatographic Science**: Department of Chemistry, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, v. 27, n. 1, p.665-671, nov. 1989.

LIU, S.; SUN, G.. Bio-functional textiles. **Handbook Of Medical Textiles**, [s.l.], p.336-359, 2011. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1533/9780857093691.3.336>.

LOFTSSON, T; DUCHENE, D. Cyclodextrins and their pharmaceutical applications. **International Journal Of Pharmaceutics**, v. 329, n. 1-2, p.1-11, 1 fev. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpharm.2006.10.044>.

LOFTSSON, Thorsteinn; SAOKHAM, Phennapha; COUTO, André Rodrigues Sá. Self-association of cyclodextrins and cyclodextrin complexes in aqueous solutions. **International Journal Of Pharmaceutics**, [s.l.], v. 560, p.228-234, abr. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpharm.2019.02.004>.

LOSONCSI, A. K. **Bioscouringofcottonfabrics**. Ph.D. Thesis, Budapest University of Technology and Economics, 2004.

MAGALHÃES, Andreia Patrícia Sousa Alves de. **Atividade antimicrobiana em têxteis**. 2015. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Controlo de Qualidade na Especialização de Água e Alimentos, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015.

MANGAT MMA. Structure and Properties of Cotton Fiber: A Literature Review. 2009;

MEINERT, M. C. and DELMER, D. P. (1977). Changes in biochemical composition of the cell wall of the cotton fiber during development, *PlantPhysiol.*, **59**: 1088–1097.

MIRAFTAB, M. et al. Advanced Materials for Wound Dressings: Biofunctional Mixed Carbohydrate Polymers. **Medical Textiles**, p.164-172, 2001. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1533/9781845693145.4.164>.

MONTEIRO, A. et al. Efficient immobilization of montmorillonite onto cotton textiles through their functionalization with organosilanes. **Applied Clay Science**, [s.l.], v. 101, p.304-314, nov. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2014.08.019>.

NAVASCONI, Taisa Rocha et al. Photodynamic Therapy With Bengal Rose and Derivatives Against *Leishmania amazonensis*. **Journal Of Lasers In Medical Sciences**, v. 8, n. 1, p.46-50, 8 jan. 2017. International Society for Phytocosmetic Sciences. <http://dx.doi.org/10.15171/jlms.2017.09>.

PEREIRA, Gislaine de Souza. **Materiais e Processos Têxteis**. Araranguá: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2009.

PEZZOLO, Dinah Bueno. **Tecidos: História, tramas, tipos e usos**. São Paulo: Senac, 2007.

PINHO, Eva et al. Cyclodextrins as encapsulation agents for plant bioactive compounds. **Carbohydrate Polymers**, [s.l.], v. 101, p.121-135, jan. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.08.078>.

PITA, Petro. **Fibras Têxteis**. Rio de Janeiro: Senai-dn; Senai Cetiqt, 1996. 1 v.

RASHEED, Arun. Cyclodextrins as Drug Carrier Molecule: A Review. **Scientia Pharmaceutica**, v. 76, n. 4, p.567-598, 2008. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3797/scipharm.0808-05>.

RISTIĆ T, ZEMLJIČ LF, NOVAK M, KUNČIČ MK, SONJAC S, Cimerman NG, Strnad S. Antimicrobial efficiency of functionalized cellulose fibres as potential medical textiles. *Sci Microb Pathog Commun Curr Res Technol Adv. A. Méndez-Vilas*; 2011. p. 36–51.

RUBIO, Laia et al. Skin Delivery of Caffeine Contained in Biofunctional Textiles. **Textile Research Journal**, [s.l.], v. 80, n. 12, p.1214-1221, 28 jan. 2010. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0040517509358798>.

SA, M. M. A. M. de; SOARES, P. D. G. M. B. Aplicação de  $\beta$ -Ciclodextrinas no Tingimento de Materiais Têxteis. **Escola de Engenharia**, v. Mestrado, p. 145, 2008.

SANTOS, Vera Lucia Vogel Faustino dos; BARCELLOS, Ivonete Oliveira; PICCOLI, Heiderose Herpich. Pre-alveamento de materiais têxteis com ozônio e avaliação de suas propriedades de superfície, físicas e tintoriais. **Matéria (rio de Janeiro)**, [s.l.], v. 22, n. 1, p.1-671, 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620170001.0122>.

SHEN, Jing; LI, Ya; HE, Ji-huan. On the Kubelka–Munk absorption coefficient. **Dyes And Pigments**, [s.l.], v. 127, p.187-188, abr. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dyepig.2015.11.029>.

SHOWN, I.; MURTHY, C. N.. Grafting of cotton fiber by water-soluble cyclodextrin-based polymer. **Journal Of Applied Polymer Science**, v. 111, n. 4, p.2056-2061, 15 fev. 2009. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/app.29162>.

SILVA, Alex et al. Antimicrobial Photodynamic Inactivation Mediated by Rose Bengal and Erythrosine Is Effective in the Control of Food-Related Bacteria in Planktonic and

Biofilm States. **Molecules**, Maringá, v. 23, n. 9, p.22 -88, 7 set. 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules23092288>.

SALEM, V. Tingimento têxtil: Fibras, Conceitos e Tecnologias. São Paulo: Blucher: Golden Tecnologia, 2010. 297p.

SILVA, R. J. M. Tratamento de Fibras Têxteis com Ultra-Sons e Enzimas. **Dissertação de Mestrado**, Universidade do Minho, 2006.

SINGH, Nagender et al. Sustainable fragrance cum antimicrobial finishing on cotton: Indigenous essential oil. **Sustainable Chemistry And Pharmacy**, [s.l.], v. 5, p.22-29, jun. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scp.2017.01.003>.

SOLOMONS, T. W. G., FRYHLE, C. B. Química Orgânica, v.2, n. 9. ed, p. 518, 2009. Rio de Janeiro: LTC.

SPECOS, M.m. Miró et al. Microencapsulated citronella oil for mosquito repellent finishing of cotton textiles. **Transactions Of The Royal Society Of Tropical Medicine And Hygiene**, [s.l.], v. 104, n. 10, p.653-658, out. 2010. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1016/j.trstmh.2010.06.004>.

VENTURINI, Cristina de Garcia et al. Propriedades e aplicações recentes das ciclodextrinas. **Química Nova**, v. 31, n. 2, p.360-368, 2008. FapUNIFESP. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422008000200032>.

VYAS, Amber; SARAF, Shailendra; SARAF, Swarnlata. Cyclodextrin based novel drug delivery systems. **Journal Of Inclusion Phenomena And Macrocyclic Chemistry**, [s.l.], v. 62, n. 1-2, p.23-42, 23 maio 2008. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10847-008-9456-y>.

WANG, Yamei et al. Chitosan-bound carboxymethylated cotton fabric and its application as wound dressing. **Carbohydrate Polymers**, [s.l.], v. 221, p.202-208, out. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.05.082>.

WOOD, Simon et al. Erythrosine is a potential photosensitizer for the photodynamic therapy of oral plaque biofilms. **Journal Of Antimicrobial Chemotherapy**, [s.l.], v. 57, n. 4, p.680-684, 7 fev. 2006. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/jac/dkl021>.

WYSZOGRODZKA, Gabriela et al. Metal-organic frameworks: mechanisms of antibacterial action and potential applications. **Drug Discovery Today**, [s.l.], v. 21, n. 6, p.1009-1018, jun. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.drudis.2016.04.009>.

YOKOTA, Shingo; KITAOKA, Takuya; WARIISHI, Hiroyuki. Biofunctionality of self-assembled nanolayers composed of cellulosic polymers. **Carbohydrate Polymers**, [s.l.], v. 74, n. 3, p.666-672, nov. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.04.027>.

ZHAO, Caiyun et al. Improvement of ink-jet printing performances using  $\beta$ -

cyclodextrin forming inclusion complex on cotton fabric. **Fibers And Polymers**, v. 18, n. 4, p.619-624, abr. 2017. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s12221-017-5842-7>.