

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

**CAÍQUE MENEZES DOS SANTOS**

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA  $\beta$ -CICLODEXTRINA NO TINGIMENTO  
DE POLIAMIDA COM CORANTE DISPERSO *C.I. YELLOW 211***

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**APUCARANA**

**2017**

**CAÍQUE MENEZES DOS SANTOS**

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA  $\beta$ -CICLODEXTRINA NO TINGIMENTO  
DE POLIAMIDA COM CORANTE DISPERSO *C.I. YELLOW 211***

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

Orientador: Prof. Dr. Fabrício Maestá  
Bezerra

**APUCARANA**

**2017**



**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:**

**Estudo da influência da B-ciclodextrina no tingimento de poliamida com corante disperso C.I. yellow 211**

por

**CAIQUE MENEZES DOS SANTOS**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado aos sete dias do mês de junho do ano de dois mil e dezessete, às quatorze horas, 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) FABRÍCIO MAESTÁ BEZERRA – ORIENTADOR**

---

**PROFESSOR (A) SIDNEY NASCIMENTO DO CARMO – EXAMINADOR(A)**

---

**PROFESSOR(A) VALQUIRIA APARECIDA DOS SANTOS RIBEIRO –  
EXAMINADOR(A)**

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

## **AGRADECIMENTOS**

Mais uma etapa da minha vida se conclui e eu só tenho a agradecer. Agradecer a Deus por ter permitido chegar até aqui, por ter me dado a oportunidade de conhecer pessoas incríveis e ter me desenvolvido como ser humano ao longo desses anos. Agradeço a minha família por ter me apoiado, e me aconselhado nos bons e maus momentos. A minha irmã por ter estado comigo do início ao fim dessa jornada.

Agradeço aos meus amigos que sempre estiveram comigo e me ajudaram a me tornar uma pessoa melhor. Também agradeço aos meus amigos de Atlética, meus amigos de Apucarana, os de minha cidade que mesmo à distância estiveram comigo.

Por fim, não menos importante agradeço aos meus professores por todo conhecimento passado, e toda disposição em ajudar não somente em assuntos acadêmicos, e sim me ajudando a me tornar uma pessoa melhor. Agradeço em especial ao meu orientador por toda paciência e pela oportunidade de ter desenvolvido este trabalho sob sua supervisão. Por ser atencioso em todo o processo de elaboração desta pesquisa.

Só se pode alcançar um grande êxito  
quando nos mantemos fiéis a nós  
mesmos (Friedrich Nietzsche).

## RESUMO

SANTOS, Caíque Menezes dos. **Estudo da Influência da  $\beta$ -Ciclodextrina no Tingimento de Poliamida com Corante Disperso C.I. Yellow 211**. 2017. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Têxtil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Apucarana, 2017.

No tingimento é necessário a utilização de diversos produtos, por exemplo, sais, igualizantes, corantes etc. Essa grande quantidade de produtos químicos, auxiliares de tingimento, além de gerar grande custo, torna o processo de tingimento mais complexo. A  $\beta$ -Ciclodextrina pode desempenhar a função de alguns auxiliares, além de conferir ao tingimento melhores resultados. O objetivo geral desse trabalho foi estudar a influência da  $\beta$ -Ciclodextrina no tingimento de malha de poliamida com corante disperso. Para alcançar o objetivo deste trabalho foram realizados quatro tingimentos, sendo dois utilizando a  $\beta$ -Ciclodextrina, e outros dois sem a  $\beta$ -Ciclodextrina. Foram utilizadas duas temperaturas de tingimento, sendo elas de 60 °C e 80 °C. O tamanho da molécula de corante foi obtido para o cálculo de complexação entre o corante e a  $\beta$ -Ciclodextrina. A complexação foi realizada pela técnica de amassamento (corante – ciclodextrina). Foram realizadas as seguintes caracterizações nos complexos formados: FTIR e a análise termogravimétrica (TG). As cores resultantes dos tingimentos foram analisadas e comparadas, sendo assim obteve-se o  $\Delta E$ . Os resultados encontrados neste trabalho mostram que a  $\beta$ -ciclodextrina aumentou a intensidade colorística dos artigos tintos, podendo ser utilizada como auxiliar de tingimento.

**Palavras-chave:**  $\beta$ -Ciclodextrina. Tingimento. Cor. Corante.

## ABSTRACT

SANTOS, Caíque Menezes dos. ***Study of the Influence of  $\beta$ -Cyclodextrin on Polyamide Dyeing with Disperse Dye C.I. Yellow 211***. 2017. 43 p. Completion of course work (Bachelor of Textile Engineering) - Federal Technology University - Parana. Apucarana, 2017.

In dyeing it is necessary to use various products, for example, salts, equalizing, coloring etc. This large amount of chemicals, dyeing aids, besides generating great cost, makes the dyeing process more complex.  $\beta$ -Cyclodextrin may play the role of some auxiliaries, in addition to dyeing better results. The general objective of this work was to study the influence of  $\beta$ -Cyclodextrin on the dyeing of polyamide mesh with dispersed dye. To achieve the objective of this work, four dyeings were performed, two using  $\beta$ -Cyclodextrin and two without  $\beta$ -Cyclodextrin. Two dyeing temperatures were used, being 60 ° C and 80 ° C. The size of the dye molecule was obtained for the calculation of complexation between the dye and  $\beta$ -Cyclodextrin. The complexation was performed by kneading technique (dye - cyclodextrin). The following characterizations were performed in the complexes: FTIR and thermogravimetric (TG) analysis. The colors resulting from the dyeings were analyzed and compared, thus obtaining  $\Delta E$ . The results found in this work show that  $\beta$ -cyclodextrin increased the color intensity of articles, and can be used as a dyeing aid.

**Keywords:**  $\beta$ -Cyclodextrin. Dyeing. Color. Dye.

Figura 1: Classificação das fibras têxteis. ....	13
Figura 2: Equações químicas das reações de polimerização de PA. 6 e PA 6.6. ....	14
Figura 3: Etapas do processo de tingimento. ....	15
Figura 4: Os quatro passos de adsorção. ....	16
Figura 5: Grupos cromóforos de corantes. ....	19
Figura 6: Estrutura química corante <i>C.I. Disperse Yellow 211</i> . ....	20
Figura 7: Faixas de Cores no Espectro do Visível. ....	21
Figura 8: Sistema CIE 1976 Lab. ....	22
Figura 9: Estrutura química de $\alpha$ , $\beta$ e $\gamma$ -ciclodextrina. ....	24
Figura 10: Gráfico de processo para tingimento de PA com corante disperso a 60°C e 80°C. ....	28
Figura 11: Estrutura química 3D proposta para o Corante <i>C.I. Disperse Yellow 211</i> . ....	30
Figura 12: Espectrograma na região do infravermelho: $\beta$ -CD, corante e complexo. .	31
Figura 13: Curvas termogravimétricas: $\beta$ -CD, corante e complexo. ....	33
Figura 14: Análise da variação da cor em decorrência do tempo de tingimento de PA com o Corante <i>C.I. Disperse Yellow 211</i> nas temperaturas: 60 °C e 80 °C. ....	35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Corantes têxteis, suas características, tipo de fixação e aplicação em material têxtil. ....	19
Tabela 2: Dimensões do Corante Disperso <i>Yellow</i> 211 .....	30
Tabela 3: Valores de $\Delta E$ por tempo de tingimento. ....	35

## LISTA DE ABREVIATURAS

$\alpha$ -CD	Alfa-Ciclodextrina
$\beta$ -CD	Beta-Ciclodextrina
$\gamma$ -CD	Gama-Ciclodextrina
Abs	Absorbância
C.I.	<i>Color Index</i>
CD	Ciclodextrina
CIE	<i>Commission Internationale de l'Éclairage</i>
CMC	<i>Colour Measurement Committee</i>
FTIR	<i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i>
PA	Poliamida
SPM	Sobre Peso Material
TG	Termogravimétrica

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	11
1.2 OBJETIVO GERAL .....	11
1.2.1 Objetivos Específicos.....	11
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>13</b>
2.1 FIBRAS .....	13
2.2 TINGIMENTO .....	15
2.2.1 Teoria Geral do Tingimento .....	15
2.2.1.1 Fase cinética .....	16
2.2.1.2 Fase termodinâmica.....	17
2.3 CORANTES .....	18
2.3.1 Corante Disperso .....	20
2.4 CORES .....	21
2.4.1 Colorimetria.....	22
2.5 CICLODEXTRINAS.....	23
2.5.1 Aplicações da Ciclodextrinas na Área Têxtil .....	25
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>25</b>
3.1 MATERIAIS.....	26
3.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL .....	26
3.2.1 Caracterização do corante disperso .....	26
3.2.2 Análise termogravimétrica (Tg) .....	26
3.2.3 Espectroscopia de Infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) .....	27
3.2.4 Tingimento .....	27
3.2.4.1 Avaliação de Cor.....	28
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>29</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO CORANTE C.I. <i>DISPERSE YELLOW 211</i> .....	30
4.2 ANÁLISE POR ESPECTROSCOPIA NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO (FTIR).....	31
4.3 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA.....	33
4.4 AVALIAÇÃO DE COR.....	34
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>37</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>37</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O setor têxtil emprega milhões de pessoas de forma direta e indireta, é responsável pelo desenvolvimento econômico de diversas regiões do Brasil, mostrando-se como um campo de grande valia para a economia. Apesar de sua importância o setor têxtil é responsável por uma parcela da poluição gerada pelas indústrias de transformação. Dentre os processos realizados, pode-se destacar o tingimento como um dos principais geradores de poluentes, pois necessita de grandes quantidades de água e gera um grande volume de efluentes (NEIVA, 2016).

Outro fator que é característico do setor têxtil é a alta concorrência, proporcionada pelos mais diversos motivos, como exemplo a influência dos governos na tributação de produtos, o consumismo e a globalização. Por esses motivos a indústria têxtil busca por melhorias a fim de conferir aos seus produtos qualidade, baixo custo e sustentabilidade (ANDREAUS, 2010).

Nessa busca por melhorias as ciclodextrinas (CDs) possuem diversas características que segundo *Andreas et al.* (2010), têm despertado os interesses de pesquisadores e fabricantes, devido à sua origem natural, tamanho nanométrico e suas propriedades que permitem complexar diversas moléculas hospedeiras. Outra vantagem das CDs está no resultado final do tingimento, pois estas podem mudar as propriedades físico-químicas dos corantes, proporcionando maior intensidade colorística nos produtos tintos resultando na menor inserção de produtos auxiliares nos processos de tingimento (LOFTSSON, 2002).

Uma das propriedades mais importantes das CDs é a capacidade de formar complexos de inclusão com uma grande variedade de moléculas hóspedes (compostos orgânicos ou inorgânicos, de natureza neutra ou iônica) em solução (SILVA, 2016). As mais importantes CDs apresentando ocorrência natural são: a alfa-ciclodextrina ( $\alpha$ -CD), a beta-ciclodextrina ( $\beta$ -CD) e a gama-ciclodextrina ( $\gamma$ -CDs), que possuem 6, 7 e 8 monômeros de glicose (VENTURINI *et al.*, 2008).

Com esta capacidade de formar complexos a  $\beta$ -ciclodextrina tem sido utilizada com corantes com a finalidade de melhorar a uniformidade do tingimento e os processos de lavagem (BHASKARA-AMRIT *et al.*, 2011).

Este trabalho visa estudar a influência da  $\beta$ -ciclodextrina no tingimento de poliamida com corante disperso.

Nesta pesquisa foi utilizado os laboratórios da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Apucarana.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Devido as grandes vantagens apresentadas em diversos estudos sobre auxiliares no tingimento de têxteis e a necessidade de novos produtos que conferem maior qualidade e sustentabilidade, a CD tem sido objeto de muitas pesquisas. A escolha da poliamida dá-se ao fato que a mesma é uma fibra nobre dentre as sintéticas e apresentar uma alta diversidade de aplicação. Dentre os corantes que tingem a fibra de poliamida, o corante disperso foi escolhido por ter poucos estudos publicados neste campo do tingimento, além de proporcionar boa interação com a  $\beta$ -ciclodextrina. Além desses fatos citados, esse trabalho irá analisar a influência da CD durante o tingimento e seu resultado final.

Embasado em pesquisas prévias e artigos notou-se a necessidade de se realizar esse trabalho de modo a suprir a falta de pesquisas sobre a  $\beta$ -ciclodextrina, principalmente em língua portuguesa, e averiguar se os resultados encontrados na literatura se aplicam na prática.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é verificar a influência da  $\beta$ -ciclodextrina na coloração do têxtil 100% poliamida, utilizando o corante disperso C.I. *Disperse Yellow 211*.

### 1.2.1 Objetivos Específicos

São objetivos específicos deste trabalho:

- realizar o tingimento de PA com o corante C.I. *Disperse Yellow 211*;

- verificar a influência da utilização da  $\beta$ -ciclodextrina no processo de tingimento;
- realizar a análise por FTIR e TG do corante, da  $\beta$ -ciclodextrina e do complexo formado;
- dimensionar o tamanho da molécula do corante disperso com o auxílio de *software Avogadro*;
- analisar a cor obtida após tingimento;
- comprovar os benefícios da utilização da  $\beta$ -ciclodextrina no processo de tingimento conforme escrito na literatura.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

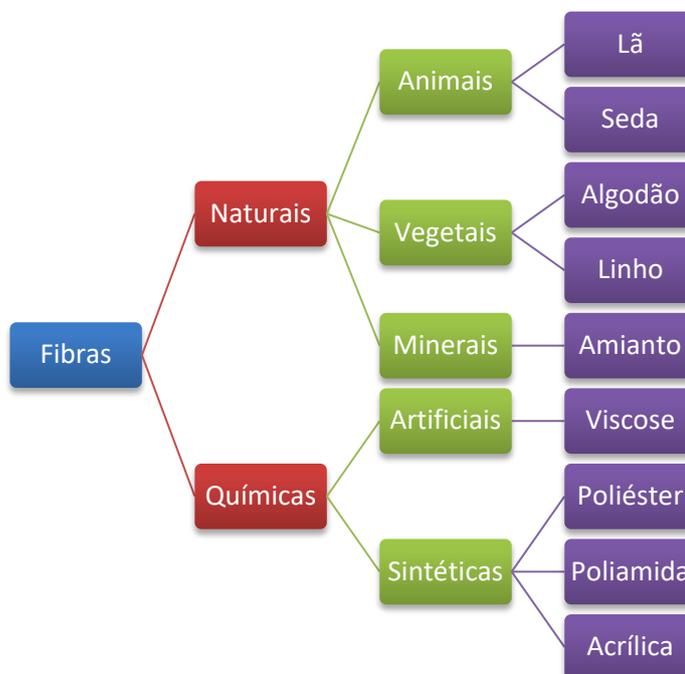
### 2.1 FIBRAS

Para o Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (2001) a definição de Fibra ou filamento têxtil é:

Toda matéria natural de origem vegetal, animal ou mineral, material químico artificial ou sintético, que pela alta relação entre comprimento e seu diâmetro, e ainda, por suas características de flexibilidade, suavidade, alongamento e finura, o tornem apto a aplicações têxteis.

As fibras e filamentos são a base dos artigos têxteis, sendo transformadas em fios e, posteriormente, em tecidos planos, malhas ou têxteis técnicos. Oliveira (1997) classifica as fibras em duas categorias: fibras químicas e fibras naturais como pode ser visto na Figura 1.

**Figura 1: Classificação das fibras têxteis.**



Fonte: Adaptado de SALEM (2010).

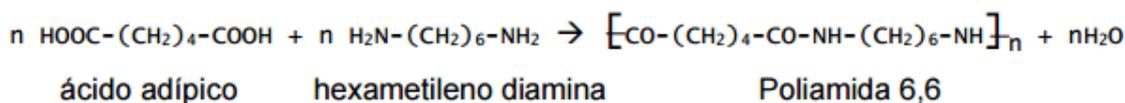
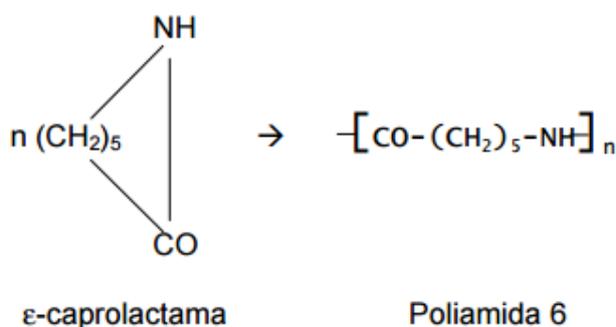
Como pode ser observado na Figura 1 a poliamida é uma fibra química sintética, que de acordo com Fantoni (2012), foi desenvolvida pela empresa DuPont®,

com o intuito de ser uma alternativa à fibra de seda. A poliamida apresenta estrutura molecular com repetição de grupos funcionais amida (-CONH-) ao longo da cadeia polimérica e, estes são intercalados por sequências de grupos metilenos (-CH<sub>2</sub>-) (ARAÚJO,2002).

As poliamidas mais utilizadas são: a 6 e a 6.6. Salem (2010) aponta que a poliamida 6.6 é derivada da reação de condensação do ácido adípico com o hexametileno diamino. Já a poliamida 6 é o produto de polimerização do ε-caprolactama.

A reação de polimerização das poliamidas podem ser vistas na Figura 2.

**Figura 2: Equações químicas das reações de polimerização de PA. 6 e PA 6.6.**



**Fonte: Araújo (2002).**

As propriedades marcantes desta poliamida de temperatura de fusão igual a 216°C e temperatura de transição vítrea de 50°C são a boa resistência mecânica em temperaturas superiores a 100°C e boa tenacidade em temperaturas abaixo de 0°C (Araújo, 2002). Apresentam também características como toque macio e agradável, resistência ao atrito e boa resiliência.

As poliamidas são utilizadas para a produção de tapetes, lingerie, cordas, calçados, vestuário e em têxteis técnicos.

## 2.2 TINGIMENTO

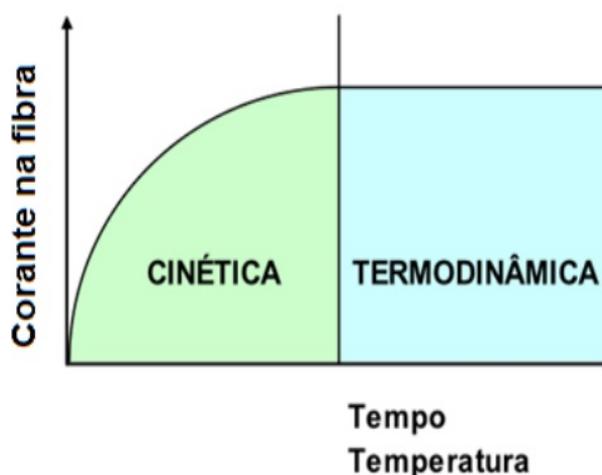
Tingimento pode ser definido como uma modificação físico-química do substrato, de forma que a luz refletida provoque percepção de cor. Os produtos que provocam essa modificação são denominados matérias corantes (SALEM, 2010). Veríssimo (2003) define o tingimento de material têxtil como a coloração que lhe é dada e possui permanência relativa.

A indústria têxtil hoje tem por objetivo tornar a coloração do tecido diferente da natural, realizando-a de uma forma integral (CHATAIGNIER, 2006). Durante o processo de tingimento três etapas são consideradas importantes: a adsorção, difusão e fixação. A adsorção e difusão fazem parte da fase cinética que é responsável por determinar a velocidade de deslocamento do corante para a superfície da fibra, já a fixação está na parte termodinâmica do tingimento, é a etapa que estuda os fatores que motivam a fixação do corante na fibra (SALEM, 2010)

### 2.2.1 Teoria Geral do Tingimento

A teoria geral do tingimento é dividida em duas fases: cinética e termodinâmica. As etapas do processo de tingimento podem ser vistos na Figura 3.

Figura 3: Etapas do processo de tingimento.



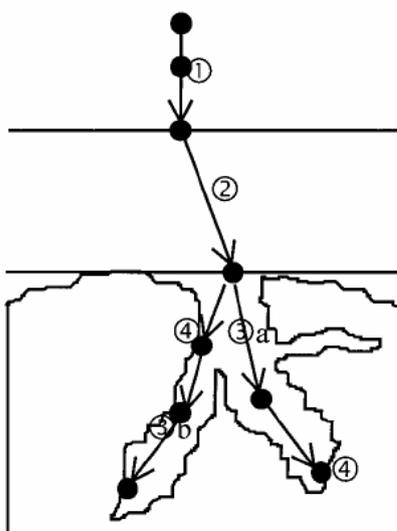
Fonte: Adaptado de SALEM, 2010.

### 2.2.1.1 Fase cinética

Mendonça *et al.* (2016) diz que cinética determina a velocidade de deslocamento do corante para a superfície das fibras, a velocidade de difusão e de adsorção dentro delas, assim como as influências da concentração de corantes e eletrólitos, pH, e temperatura e relação de banho sobre estas velocidades.

Por meio da cinética de adsorção é possível determinar o tempo necessário para atingir o equilíbrio entre a concentração de corante na solução e na amostra de tecido, durante o processo de tingimento (SILVA, 2013). Para Weber & Smith (1987) a cinética de adsorção ocorre em quatro etapas sucessivas esquematizadas na Figura 4.

Figura 4: Os quatros passos de adsorção.



Fonte: WEBER e SMITH (1987).

Os quatros passos de adsorção são:

1. **transporte no seio da solução:** envolve o movimento do material a ser adsorvido (adsorvato) através do seio da solução líquida para a camada-limite ou filme de líquido existente ao redor da partícula sólida do adsorvente;
2. **transporte por difusão através da camada limite:** corresponde ao transporte do adsorvato por difusão através da camada limite até a superfície externa do adsorvente (difusão externa à partícula);

3. **transporte pelos poros:** envolve o transporte do adsorvato pelos poros da partícula de adsorvente, por uma combinação de difusão molecular no líquido contido no interior dos poros e difusão ao longo da superfície do adsorvente (difusão interna à partícula); É importante a estrutura da fibra nesse passo para a passagem do adsorvato.
4. **adsorção:** interação do adsorvato em um sítio disponível na superfície do adsorvente, envolvendo vários mecanismos, tais como adsorção física, adsorção química, troca iônica, precipitação ou complexação.

Segundo Santos (2015), a cinética de tingimento deve ser criteriosamente representada em forma de uma curva que deve expressar o tempo de tingimento em função da quantidade adsorvida de corante no substrato em determinados tempos até atingir o equilíbrio, denominado de exaustão ou tempo de equilíbrio. Existem diversos modelos pra ajustar as curvas na cinética de tingimento a partir dos dados encontrados. Os principais modelos são: (i) modelo cinético de pseudo-primeira ordem; (ii) o modelo cinético de pseudo-segunda ordem; e o por vezes usado o (iii) modelo de difusão intrapartícula.

#### 2.2.1.2 Fase termodinâmica

A termodinâmica analisa os fatores que favorecem a fixação do corante no substrato. A relação entre a quantidade de adsorvato adsorvida e a concentração do adsorvato na fase fluida, a uma dada temperatura, é chamada de Isoterma de Adsorção (RUTHVEN, 1984). Desta forma, as isotermas indicam a quantidade de adsorvato que o adsorvente pode acumular (GUPTA e SUHAS, 2009).

Após a fase cinética, o tingimento entra em equilíbrio com o corante remanescente no banho. Neste estado, a relação corante/substrato/banho é expressa por uma constante de equilíbrio "K", podendo ser expresso graficamente por três tipos de linhas isotermas de adsorção, Nernst, Langmuir e Freundlich (MENDONÇA *et al.*, 2016; LADCHUMANANANDASIVAM, 2008).

## 2.3 CORANTES

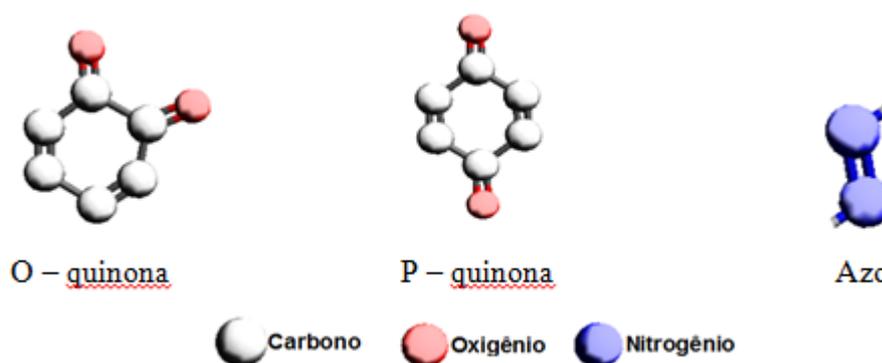
Corantes têxteis são compostos orgânicos usados com a finalidade de conferir a fibra uma determinada cor. Dessa forma, não há um só corante que possa tingir todas as fibras e muito menos uma fibra que possa ser tinta por todos os corantes, assim tipos diferentes de fibras requerem o uso de corantes de diferentes categorias (VELOSO, 2012).

Bezerra (2012) classifica os corantes de acordo com as forças de interação química, responsáveis pela sorção e fixação do corante na fibra, com sua estrutura química e pelo e método de aplicação, sendo esta última forma a mais utilizada na área têxtil. Para Guarantini e Zanoni (2000) são quatro tipos de interações químicas que podem ocorrer: ligações iônicas, de hidrogênio, de Van der Waals ou covalentes, geralmente em solução aquosa. A ligação iônica ocorre devido à atração das cargas opostas dos átomos da reação. As interações de hidrogênio surgem do compartilhamento de elétrons do hidrogênio entre o corante e a fibra. As forças de Van der Waals acontecem na aproximação máxima entre orbitais do corante e da molécula da fibra, as moléculas do corante são “ancoradas” sobre a fibra por um processo de afinidade. E as interações covalentes acontecem devido ao compartilhamento de pares de elétrons da reação.

A molécula do corante utilizada para tingimento da fibra têxtil pode ser dividida em duas partes principais, o grupo cromóforo e a estrutura responsável pela fixação à fibra (KUNZ *et al.*, 2002).

De acordo com Bezerra (2012) a classificação dos corantes quanto à estrutura química, leva-se em consideração o grupo cromóforo, responsável pela cor. Os principais grupos cromóforos estão na Figura 5.

Figura 5: Grupos cromóforos de corantes.



Fonte: Bezerra (2012).

A classificação dos corantes quanto ao seu método de aplicação é a classificação mais utilizada. E os principais estão na Tabela 1.

Tabela 1: Corantes têxteis, suas características, tipo de fixação e aplicação em material têxtil.

Corante	Característica	Tipo de fixação	Fibras
<b>Ácido</b>	Aniônico, altamente solúvel, pouco resistente à lavagem	Ligações iônicas	Poliâmida e lã
<b>Azóico</b>	Coloidal após a reação com a fibra, insolúvel	Precipitação <i>in situ</i> do corante na fibra	Fibras celulósicas
<b>Básicos</b>	Catiônico, altamente solúvel	Ligações iônicas	Poliacrílica
<b>Cuba</b>	Coloidal após a reação com a fibra, insolúvel	Precipitação <i>in situ</i> do corante na fibra	Fibras celulósicas
<b>Diretos</b>	Aniônico, altamente solúvel, pouco resistente a lavagem	Ligações iônicas	Fibras celulósicas e poliamídicas
<b>Disperso</b>	Dispersão coloidal, muito pouco solúvel, resistente à lavagem	Impregnação coloidal e adsorção	Poliéster, poliamida, poliacrílica e acetato de celulose
<b>Enxofre</b>	Coloidal após a reação com a fibra, insolúvel	Precipitação <i>in situ</i> do corante na fibra	Fibras celulósicas
<b>Pré-metálicos</b>	Aniônico, baixa solúvel, bem resistente à lavagem	Ligações iônicas	Poliâmida e lã
<b>Reativos</b>	Aniônico, altamente solúvel, bem resistente à lavagem	Ligações covalentes	Fibras celulósicas e lã

Fonte: Adaptado de Salem *et al.* (2005); Zanoni e Guaratini (2000) ; Trotman (1975); Bezerra (2012).

### 2.3.1 Corante Disperso

Segundo Guarantini e Zanoni (2000) os corantes dispersos constituem uma classe de corantes insolúveis em água aplicados em fibras de celulose e outras fibras hidrofóbicas por meio de suspensão. O grau de solubilidade do corante deve ser pequeno, mas definido e influencia diretamente o processo e a qualidade da tintura.

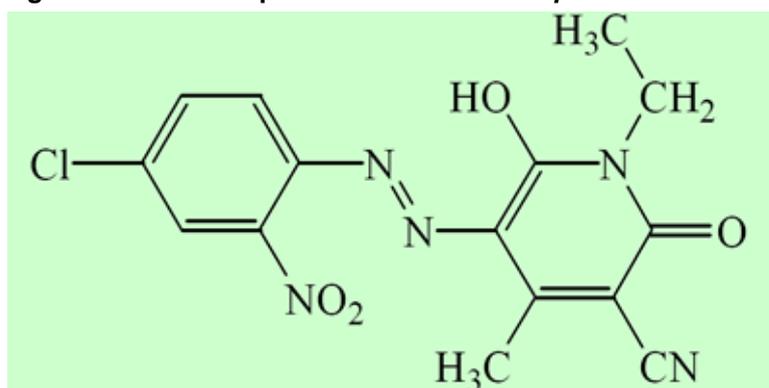
Principais características do corante disperso:

- Corantes não-iônicos (apolares);
- Estrutura química: azo ou antraquinônica;
- Solubilidade: em água fria poucos mg/L e na temperatura de tingimento mais de 100 mg/L.
- Sublimação: Mediante ao calor seco passam do estado sólido para o gasoso.

No tingimento de fibras de poliamida com corantes dispersos não ocorre nenhuma ligação química. O corante adsorvido na superfície da fibra difunde-se para o interior. Este tipo de corante se difunde facilmente para a superfície e sofre desadsorção, voltando para o banho (SALEM, 2010).

Na Figura 6 temos a estrutura do corante disperso *C.I. yellow 211*.

Figura 6: Estrutura química corante *C.I. Disperse Yellow 211*.



Fonte: *Disperse Yellow 211*.

## 2.4 CORES

A percepção sensorial da cor é causada pela luz. Por essa razão, a cor é sempre relacionada a uma fonte de luz, desde que o objeto não emita luz própria (SALEM, 2010). A quantidade de luz refletida ou transmitida por um objeto pode ser quantificada por meio de instrumentos, tais como os espectrofotômetros, que medem a quantidade de energia refletida ou transmitida a cada comprimento de onda (MORENVAL, 2007). A partir da medição do comprimento de onda, é possível obter a identificação da cor.

Segundo Souza (2014), as cores pigmento se referem às utilizadas em substâncias materiais - as tintas -, e são divididas em dois tipos: cores-pigmento transparentes e cores-pigmento opacas. Ainda que se refiram a um meio “físico” as cores pigmento também são luz, uma vez que dependem de fatores como reflexão, absorção e refração para serem visíveis

De acordo com Orozco (2015), a cor-pigmento é uma substância material, que dependendo da sua natureza, absorve, refrata e reflete raios luminosos componentes da luz que se alastra sobre ela. O que nos leva a chamar um material de uma determinada cor, é a capacidade de absorver quase todos os raios de luz branca incidente, e refletir para nossos olhos somente a tonalidade da cor observada.

**Figura 7: Faixas de Cores no Espectro do Visível.**

<b>Cor</b>	<b>Comprimento de onda</b>
vermelho	~ 625-740 nm
laranja	~ 590-625 nm
amarelo	~ 565-590 nm
verde	~ 500-565 nm
ciano	~ 485-500 nm
azul	~ 440-485 nm
violeta	~ 380-440 nm

**Fonte: ROCHA, 2011.**

A luz visível se encontra no intervalo entre o tamanho de 380nm e 740nm. Este intervalo é chamado de “espectro visível”. No entanto, a luz branca é, na verdade, formada por sete cores que vão do vermelho ao violeta (ROCHA, 2011), como

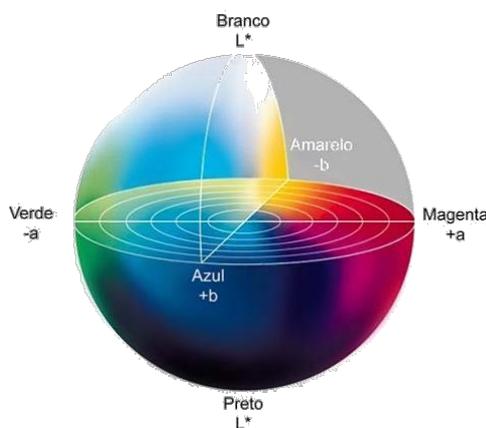
mostrado na Figura 7. Mas tratando de cores para tingimento, a junção de diversas cores resultam na cor preta.

#### 2.4.1 Colorimetria

Por definição, segundo Lopes (2009), a Colorimetria é a técnica, e a ciência, que busca por meio de modelos matemáticos, descrever, quantificar e simular a percepção de cor pelo homem. É a interação da luz com os materiais que, como sensação, é percebida pelo olho e interpretada pelo cérebro.

Para padronizar os sistemas de colorimetria, a Comissão Internacional de Iluminação, o CIE (*Commission Internationale de l'Éclairage*), elaborou modelos de cores independentes e que servem como parâmetros para diversos estudos relacionados à colorimetria. Figura 8 demonstra o espaço CIE  $L^*a^*b^*$ .

**Figura 8: Sistema CIE 1976 Lab.**



**Fonte: LOPES, 2009.**

O sistema CIE Lab é baseado em 3 variáveis. Sendo os elementos luminosidade ( $L^*$ ), saturação ( $C$ ) e tonalidade ( $a^*$ ,  $b^*$  e  $h^*$ ). De acordo com Teles & Costa (2014), claridade define a escala cinza entre o branco e o preto. É expressa pela variável  $L^*$  e assume valor 0 para o preto absoluto e 100 para o branco total. A tonalidade é expressa pelas cores primárias vermelho, verde, amarelo e azul, sendo representada por um plano constituído por duas retas  $a^*$  e  $b^*$  perpendiculares que passam pelo centro. A saturação ( $C$ ) é o desvio a partir do ponto correspondente ao

cinza no eixo L\*, indicando a proporção em que ela está misturada com branco, preto ou cinza (MORENVAL, 2007).

Para determinação de valores de saturação (C) é utilizado a Equação 1. O ângulo de tinta (h\*) é determinado pela Equação 2. Para obter a variação total de cor, é utilizada a Equação 3.

$$C = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad \text{Equação 1}$$

$$h^* = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad \text{Equação 2}$$

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad \text{Equação 3}$$

Sendo:

C= Saturação;

a= coordenada cromática sobre eixo verde-vermelho;

b= coordenada cromática sobre eixo azul-amarelo;

h\*= ângulo de tinta;

$\Delta$  = variação de leituras das amostras e padrão;

$\Delta E$ = variação total de cor.

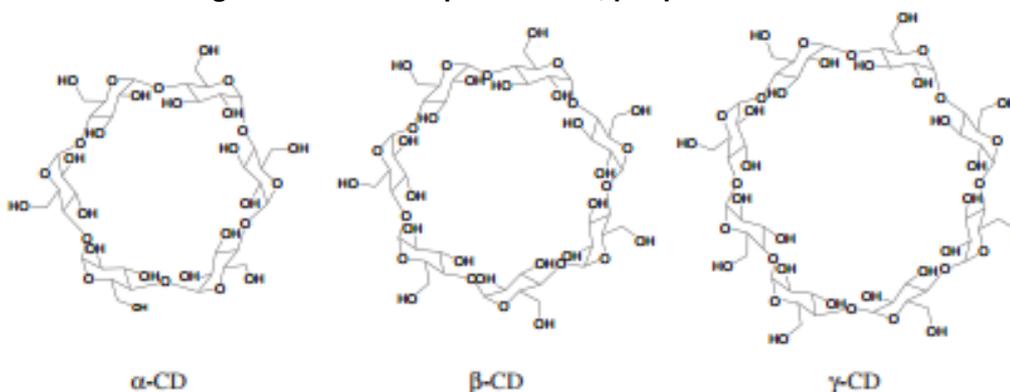
A partir do sistema CIE L\*a\*b\* surgiu o sistema que analisa a diferença de cores elaborado pelo Comitê de Medição de Cores, o CMC (*Colour Measurement Committee*). As tolerâncias contempladas no CMC foram obtidas por meio de modificações das já usadas no CIE L\*a\*b\*, criando assim, uma condição de melhor percepção entre a comparação do desvio de cor visual com relação ao instrumental (MORENVAL, 2007).

## 2.5 CICLODEXTRINAS

Ciclodextrinas (CDs) são oligossacarídeos cíclicos compostos por unidades de glicose unidas por ligações  $\alpha$ -1,4 (ARAÚJO, 2003). Segundo Andreaus *et al.* (2010), as CDs naturais mais importantes e comercialmente fornecidas por diversos fabricantes são a  $\alpha$ -CD, a  $\beta$ -CD e a  $\gamma$ -CD, cujas cavidades são formadas,

respectivamente, por 6, 7 e 8 unidades de D-(+)-glicopirranose como mostra a Figura 9.

**Figura 9: Estrutura química de  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ -ciclodextrina.**



Fonte: Andreus *et al.* (2010).

As ciclodextrinas são capazes de formar complexos de inclusão, alterando a intensidade e duração dos efeitos dos materiais complexados (ARAÚJO, 2003). Andreus *et al.* (2010) diz que a estabilidade do complexo CD-corante depende do tamanho da cavidade da CD.

Moléculas (orgânicas) apolares ou com extremidade apolar podem ser incorporadas como moléculas hóspedes na cavidade das CDs, resultando assim um complexo solúvel em água (BENDER, 1978). A principal razão pela pouca utilização da CD na indústria têxtil é o custo relativamente alto de comercialização deste produto.

Comercialmente a mais interessante é a  $\beta$ -CD, devido à sua produção, a disponibilidade e a facilidade de ligação a superfícies têxteis. Outra grande característica da  $\beta$ -CD é a cavidade, que a torna adequada para a realização de uma série de complexos. É a mais amplamente utilizada e que constitui pelo menos 95% de todas as CDs produzidos e consumidos (BHASKARA-AMRIT *et al.*, 2011; VONČINA, VIVOD E JAUŠOVEC, 2007).

Para Frömring e Szejtli (1994)  $\beta$ -CDs são carregadores, levando a molécula hidrofóbica em solução, mantendo-a dissolvida e transportando-a à membrana celular lipofílica (solúvel em lipídios).

Nos últimos anos, surgiram vários relatos sobre a aplicação de CDs no beneficiamento têxtil, sobre o seu emprego como auxiliares no tingimento e nos processos de lavagem (ANDREAUS *et al.*, 2010). Sua utilização como auxiliar de tingimento dá-se à sua capacidade de formar complexos, economia de corante no tingimento e pela sua origem natural.

### 2.5.1 Aplicações da Ciclodextrinas na Área Têxtil

As ciclodextrinas podem ser consideradas uma nova classe de substâncias auxiliares para a indústria têxtil. As ciclodextrinas podem ser utilizadas para aplicações têxteis devido a sua origem natural e a sua biodegradabilidade. (VONCINA, 2011).

Andreas *et al.* (2010) expõe que as CDs além de serem biodegradáveis, não ocasionando problemas nos efluentes têxteis, melhoram a biodegradabilidade de muitas substâncias orgânicas tóxicas. Logo, as CDs são utilizadas na área têxtil também para amenizar os impactos ambientais causados pelos insumos utilizados em alguns processos como o tingimento, beneficiamento e acabamento.

Vončina, Vivod e Jaušovec (2007) em seus estudos observaram que o tingimento apresentou melhor resultado, e os valores de esgotamento do banho foram significativamente melhorados quando a  $\beta$ -CD foi utilizado como um reagente de retardamento em relação ao reagente catiônico de retardamento.

Segundo Bhaskara-Amrit *et al.* (2011), dentro da indústria de lavanderia, ciclodextrinas apresentam uma oportunidade para diminuir os tensoativos residuais encontrados na superfície do tecido lavado quando adicionados no ciclo de lavagem. As  $\beta$ -CDs ainda são usadas para encapsular fragrâncias, repelentes, ação antimicrobiana e na proteção contra raios solares.

O efeito igualizante e/ou retardante (com afinidade pelo corante) da  $\beta$ -CD foi estudado também no tingimento de algodão com corantes diretos e foi comparado com um agente comercial igualizante/retardante (com afinidade pela fibra) (ANDREAS *et al.*, 2010). Os resultados deste estudo feito por Cireli & Yudarkul (2006) concluíram e que a afinidade da  $\beta$ -CD pelo corante no banho depende do tamanho da molécula do corante e da planaridade de sua estrutura, agindo como retardante específico para os corantes onde ela forma complexos de inclusão.

Baseado nas referências dos autores citados pode-se esperar que as CDs contribuam nos resultados encontrados. As CDs podem ser usadas com os mais diversos tipos de fibras, inclusive no tingimento de poliamida com corante ácido ou direto. São esperados maior adsorção em menor tempo de tingimento, sem que haja a necessidade de adicionar mais corante para tais resultados.

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 MATERIAIS

Para realização dos experimentos foram utilizadas amostras de malha de 100% Poliamida 6, 351,67 g/m<sup>2</sup>,  $\beta$ -ciclodextrina – CAVAMAX W7, da empresa Sigma Aldrich. Para tingir as amostras foram utilizadas o corante *C.I. Disperse Yellow 211* (C<sub>15</sub>H<sub>12</sub>ClN<sub>5</sub>O<sub>4</sub>), da marca Golden Tecnologia, massa molar de 361,74.

### 3.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O procedimento experimental envolveu a caracterização do corante utilizado, o processo de tingimento e as análises da fase cinética e termodinâmica do tingimento.

#### 3.2.1 Caracterização do corante disperso

Os modelos da estrutura molecular tridimensional do corante foi obtido utilizando o *software* Avogadro. Neste mesmo programa foi realizada a mensuração de átomo a átomo das moléculas, e assim verificado as maiores extensões tanto longitudinalmente quanto transversalmente da molécula do corante.

#### 3.2.2 Análise termogravimétrica (Tg)

A análise da estabilidade térmica dos complexos foi realizada com o equipamento de Análise Termogravimétrica, Shimatzu TG50. Verificou-se o comportamento térmico dos seguintes produtos:  $\beta$ -ciclodextrina, corante e complexos.

O método utilizado apresentava velocidade de aquecimento de 10 °C min<sup>-1</sup>, faixa de temperatura de 30 °C a 600 °C em atmosfera de argônio. Todas as amostras foram deixadas em estufa, durante 24 horas. Para avaliar o complexo, este foi formado pelo método de amassamento entre a  $\beta$ -CD e o corante disperso *Yellow 211*. Neste método, o corante é colocado em um recipiente junto com a  $\beta$ -CD na relação molar

desejada para a formação do complexo. Neste trabalho foi utilizada a relação molar de 1:1 entre a  $\beta$ -CD e o corante disperso. Após colocar a  $\beta$ -CD e o corante no recipiente, adicionou a quantidade de 0,1mL de água destilada. Com o auxílio de um bastão de vidro foi realizado o amassamento durante 20 minutos. Após essa etapa de amassamento, a solução foi colocada em estufa para secar a temperatura ambiente por aproximadamente 24 horas.

### 3.2.3 Espectroscopia de Infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

Com o mesmo complexo formado para a análise termogravimétrica, foi realizado a Espectroscopia de Infravermelho com transformada de Fourier. A FTIR foi feita na região  $4.000 - 400 \text{ cm}^{-1}$ , realizada utilizando o aparelho FTIR Bomem, mod. MB-100. As amostras caracterizadas foram: corante, ciclodextrina e complexo (corante/ciclodextrina).

### 3.2.4 Tingimento

O processo de tingimento utilizado foi o por esgotamento, na máquina KIMAK AT1-SW e a relação de banho de 1:30 (m:v) e o processo *all in* (todos os produtos são colocados no banho no início do processo). Foram utilizadas duas temperaturas para os tingimentos,  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  ambos por 45 minutos. Para cada temperatura de tingimento foi realizado um tingimento com  $\beta$ -CD e corante e o outro somente com corante. Foram realizados 4 grupos de tingimento com 9 amostras cada.

Os tingimentos realizados com a inserção de  $\beta$ -ciclodextrina seguiram os mesmos parâmetros citados anteriormente. Com a  $\beta$ -CD inserida na solução juntamente com o corante. A razão molar utilizada para o tingimento foi de 1:1 (m:m). A quantidade de corante utilizada foi de 2% spm.

Foram realizados 4 grupos de tingimento com 9 amostras cada. Os intervalos de tempo para as retiradas de amostra foram escolhidos aleatoriamente e pré-determinados.

Tingimento I - Temperatura  $80^\circ\text{C}$  sem  $\beta$ -CD.

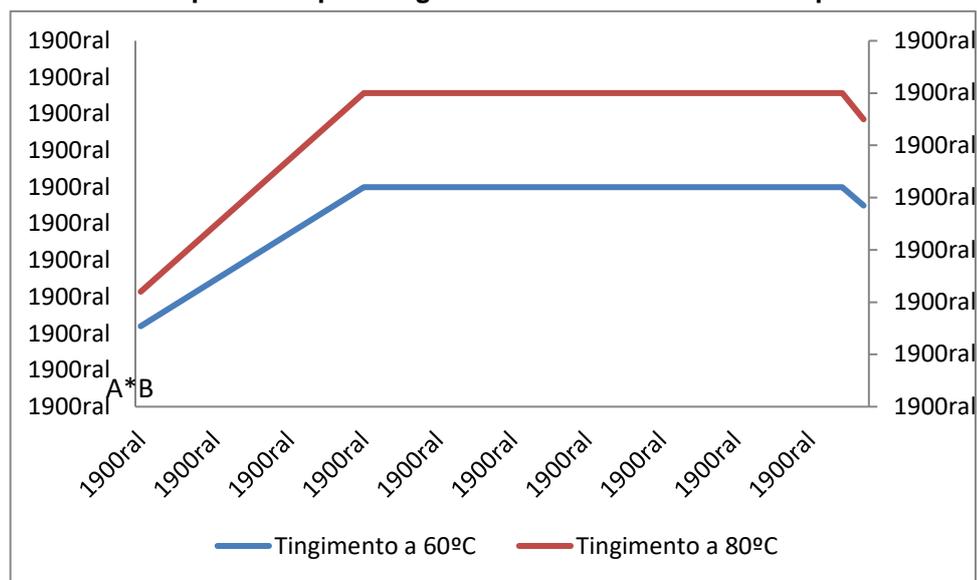
Tingimento II - Temperatura 80°C com  $\beta$ -CD.

Tingimento III - Temperatura 60°C sem  $\beta$ -CD.

Tingimento IV - Temperatura 60°C com  $\beta$ -CD.

Os procedimentos para os tingimentos com corante disperso podem ser conferidos na Figura 8.

**Figura 10: Gráfico de processo para tingimento de PA com corante disperso a 60°C e 80°C.**



**A\* Corante Disperso e B\*  $\beta$ -CD**  
**Fonte: Autor (2016).**

Os procedimentos foram realizados na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Apucarana e os ensaios realizados em duplicata.

#### 3.2.4.1 Avaliação de Cor

A determinação da concentração de corantes na solução ocorreu pelo espectrofotômetro de remissão de cor, Delta Vista 450G, *software* i7 Delta Color. Uma amostra sem ter recebido o tingimento foi analisada, para servir de padrão para as outras amostras que foram tingidas. Após a determinação das coordenadas colorimétricas da amostra padrão, foi realizada a leitura das amostras com o espectrofotômetro. Por meio das leituras realizadas no equipamento, obteve-se as coordenadas  $L^*a^*b$  para as equações de colorimetria da seção 2.3.1. Com o resultado

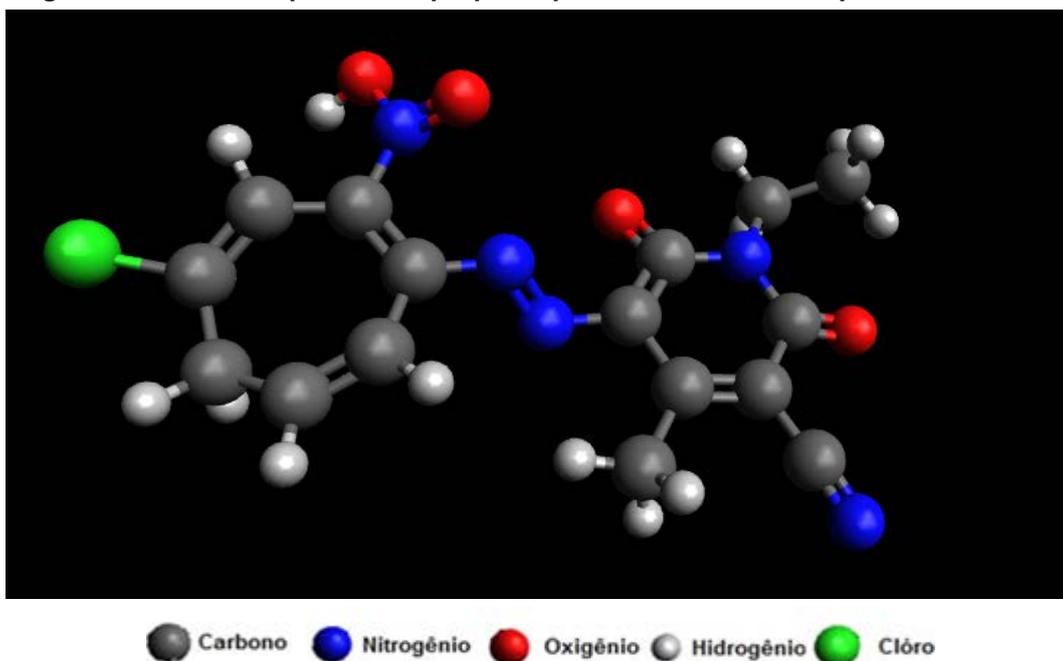
dessas equações, foi possível obter a variação de cor de cada amostra ao longo dos tempos de tingimento, utilizando a Equação 7, nas condições de CMC (1:1).

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

#### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DO CORANTE C.I. *DISPERSE YELLOW 211*

Com o auxílio do *software* Avogadro, foi possível realizar a modelagem 3D da molécula do corante amarelo disperso 211. O modelo pode ser visto na Figura 9.

**Figura 11: Estrutura química 3D proposta para o Corante C.I. *Disperse Yellow 211*.**



Fonte: Autor (2016).

Com esse *software* também foi possível determinar o tamanho da molécula a fim de descobrir se seria possível a formação do complexo:corante. As dimensões encontradas estão dispostas na Tabela 2.

**Tabela 2: Dimensões do Corante Disperso *Yellow 211***

	Dimensões (Å)
Corante <i>disperse yellow 211</i>	Longitudinal: 12,273 Transversal <sub>máx</sub> : 6,563

Fonte: Autor (2016).

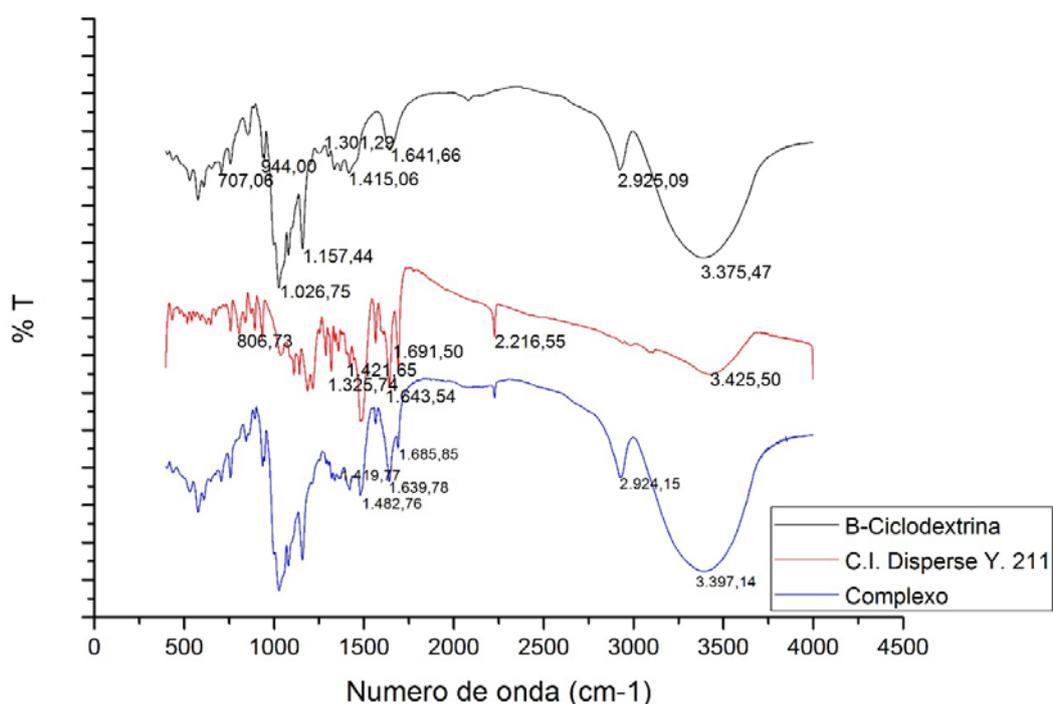
Com essas dimensões, comparando com as dimensões encontradas na literatura da CD, que segundo Saenger *et al.* (1998), a  $\beta$ -CD têm diâmetro entre 7,5 e 8,3 Å, acredita-se que há possibilidade de formação de complexo. Devido a molécula de corante ser longitudinalmente maior que a da  $\beta$ -CD, espera-se que ocorra uma complexação, no máximo parcial. Sendo assim para uma complexação total da

molécula de corante, recomenda-se o aumento na relação entre CD e corante, seja 1:2, 1:3 ou mais.

#### 4.2 ANÁLISE POR ESPECTROSCOPIA NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO (FTIR)

Foi realizada a espectroscopia na região do infravermelho por transformada de Fourier e obteve-se os espectros da  $\beta$ -ciclodextrina, do corante e do complexo formado (CD:Corante). Estes são apresentados na Figura 12. É possível notar que há interações complexas que podem ser observadas na região de aproximadamente 500 – 4.000  $\text{cm}^{-1}$ .

**Figura 12: Espectrograma na região do infravermelho:  $\beta$ -CD, corante e complexo.**



**Fonte: Autor (2017).**

Na Figura 12 é mostrada a espectroscopia na região do infravermelho da  $\beta$ -ciclodextrina, na qual se podem destacar as bandas nas regiões de: 3.375,47; 2.925,09; 1.641,66; 1.410 – 1.300; 1.150 – 1.020; 9.50 – 700  $\text{cm}^{-1}$ .

O pico característico da ligação OH,  $3.375,47\text{ cm}^{-1}$  uma banda larga de acordo com Baptista, Borges e Ferreira (2010). Já o pico na região de  $2.925,09\text{ cm}^{-1}$  mostra a presença de  $\text{CH}_2$  alifático e, em  $1.080,20\text{ cm}^{-1}$  um estiramento de álcool secundário presentes na molécula de CD. Com relação aos picos situados na região de  $1.150 - 1.020\text{ cm}^{-1}$  são atribuídos às vibrações do alongamento C-O-C, das ligações entre os grupos éter e hidroxila, ligações glicosídicas (MARTIN *et al.*, 2013). E por fim, os picos pertencentes à região de  $950 - 700$  são relativos às vibrações CH e às vibrações do esqueleto C-C do anel glicopiranosose presente nas ciclodextrinas, assim como relatado por Aguiar *et al.* (2014).

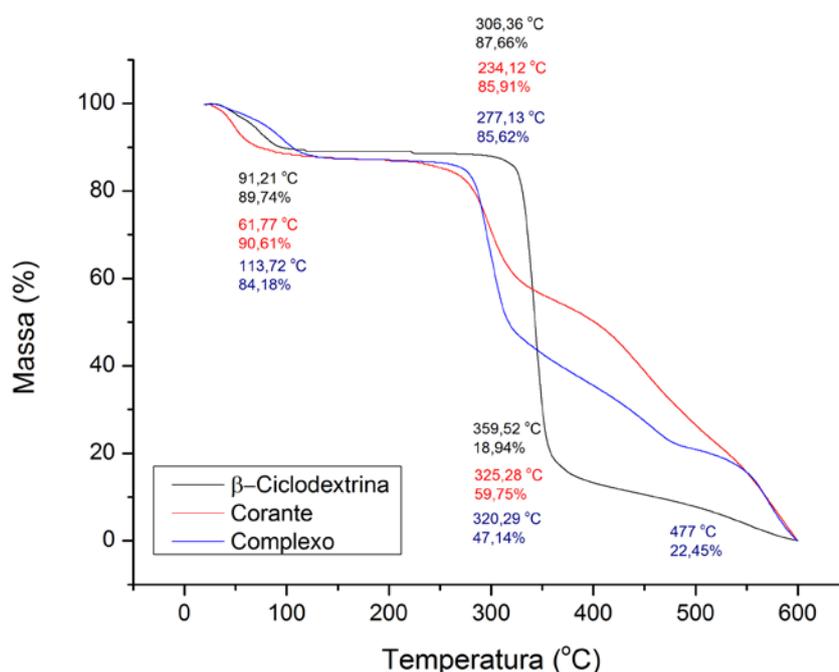
Quanto ao espectro obtido com o corante *Disperse Yellow 211*, é destacado as bandas nas regiões  $3.425,5$ ;  $2.216,55$ ;  $1.691,5$ ;  $1.643,54$ ;  $1.421,55$ ;  $1.325,74$ ;  $806,73\text{ cm}^{-1}$ . No corante também há a presença da ligação OH,  $3.425,5\text{ cm}^{-1}$  na banda larga citada por Batista, Borges e Ferreira (2010) esse pico ocorre pelo estiramento da ligação, já a deformação da ligação OH é apresentada pelo pico de  $1.421,55\text{ cm}^{-1}$ . De acordo com Prikryl *et al.* (1994) o pico  $2.216,55\text{ cm}^{-1}$  é de ocorrência de estiramento de Cianeto. Ligações da CD podem ser vistas na molécula apresentada na Figura 9. Já o pico no intervalo de  $1.691,50-1.643,54\text{ cm}^{-1}$  é característico de estiramento da ligação C=O. Ainda no espectro é possível observar o estiramento do dióxido de nitrogênio representado pelo pico  $1325,74\text{ cm}^{-1}$ , todos os grupos e ligações podem ser vistas na molécula do corante representada pela Figura 6.

Com relação ao espectro obtido pelo complexo, pode-se observar a diminuição da intensidade dos picos no espectro do corante no intervalo de  $1.691,50-1.643,54\text{ cm}^{-1}$ . Essa diminuição possivelmente foi ocasionada pela complexação da CD com o corante. A inserção de uma molécula-hóspede no interior da cavidade da  $\beta$ -CD provoca uma restrição conformacional, reduzindo a movimentação livre das moléculas encapsuladas e, portanto, reduzindo a intensidade do sinal (AGUIAR *et al.*, 2014). Outros autores que apontam leves deslocamentos são Bakkialakshmi & Menaka (2012) e Stanghellini *et al.* (2000), principalmente na região do grupo hidroxila (OH) da  $\beta$ -CD, que antes de complexar apresentava pico na região de  $3.375,47$  e após a complexação tem pico de  $3.397,14\text{ cm}^{-1}$ .

### 4.3 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA

A Figura 13 apresenta o comportamento da  $\beta$ -CD, do corante e do complexo ao serem elevados a altas temperaturas (600°C), e a relação com sua massa ao decorrer que a temperatura aumenta.

**Figura 13: Curvas termogravimétricas:  $\beta$ -CD, corante e complexo.**



Fonte: Autor (2017).

A curva termogravimétrica da  $\beta$ -CD apresenta dois eventos térmicos, o primeiro à 91 °C e o segundo à 306,36 °C. Segundo Deorsola, Mothé e Oliveira (2014), primeiro evento é ocasionado pela perda de água presente na  $\beta$ -CD, essa perda resultou em uma diminuição de aproximadamente 9% da massa inicial. O segundo, é resultante da decomposição da  $\beta$ -CD à 359,52 °C. E os 18% restantes são resíduos que até os 600°C se decompõem por completo. Esse comportamento da  $\beta$ -CD foi encontrado em outros trabalhos, tal como os autores supracitados e o estudo realizado por Vieira (2011).

Para a curva do Corante Disperso obteve-se três eventos térmicos. A ocorrência do primeiro evento foi devido à perda de umidade até a temperatura de aproximadamente 60 °C. Nesse intervalo de 30 °C – 234 °C houve uma perda por volta dos 14% do total da massa de corante. De acordo com Rego (2016) a partir da

temperatura de 200 °C, a queda abrupta na curva apresentada pelo corante ocorre em todos os tipos de corante azoarômico. Devido à temperatura de evaporação molecular, indicando uma mudança brusca da fase fundida do corante. Essa queda abrupta ocorreu à 325,28 °C e a perda de massa foi de aproximadamente 26%. Por volta da temperatura de 400 °C acontece a fusão do corante, permanecendo apenas os resíduos.

O complexo  $\beta$ CD-Corante Disperso apresentou uma curva média entre o comportamento do corante e da  $\beta$ -CD, sendo ligeiramente mais próximo à curva do corante. Essa situação ocorre, pois a razão molar utilizada entre a CD e o corante foi de 1:1. Devido a molécula do corante não ter sido totalmente complexada pela CD o comportamento da curva ficou ligeiramente mais próximo ao do corante, mas esta indica a suposta complexação, que fica evidenciada com o espectrograma obtido pela técnica de FTIR.

#### 4.4 AVALIAÇÃO DE COR

Com o espectrofotômetro obteve-se os resultados da variação total de cor com relação ao tempo de tingimento em duas temperaturas, 60 °C e 80 °C. A variação da cor ( $\Delta E$ ) foi calculada levando-se em consideração o valor amostral subtraído pelo padrão, nas coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  como mostrado na Equação 7, tendo em vista que quanto maior o valor de  $\Delta E$ , maior é a quantidade de corante adsorvido, se teve a condição de tingimento a 80 °C com a utilização de CD como o processo de maior coloração ( $\Delta E = 85,1$ ). Os valores encontrados para  $\Delta E$  podem ser conferidos na Tabela 3.

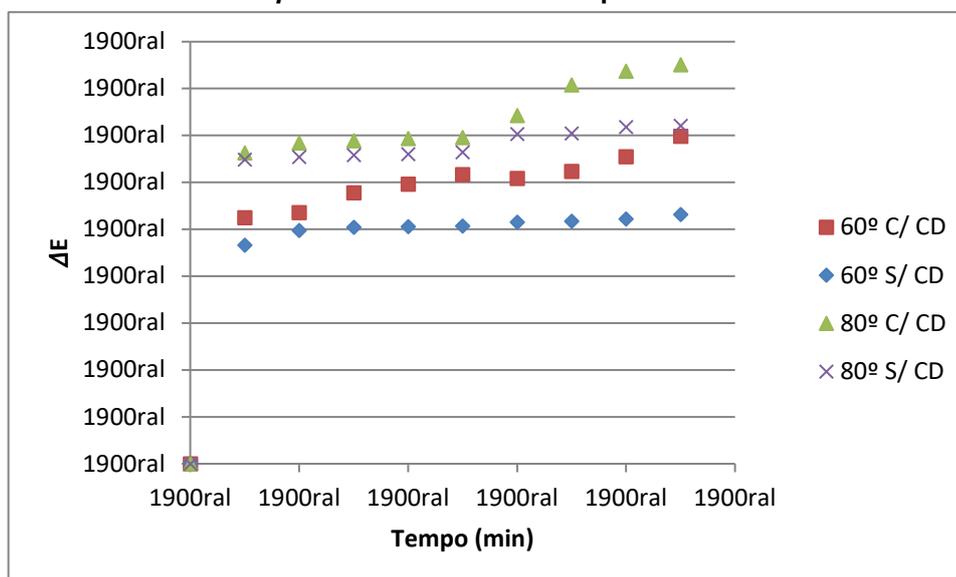
**Tabela 3: Valores de  $\Delta E$  por tempo de tingimento.**

Tempo (Min)	60°C sem $\beta$ -CD	60°C com $\beta$ -CD	80°C sem $\beta$ -CD	80°C com $\beta$ -CD
5	46,59	52,49	64,84	66,31
10	49,74	53,57	65,42	68,36
15	50,39	57,75	65,81	68,88
20	50,56	59,58	66,02	69,36
25	50,68	61,62	66,39	69,57
30	51,5	60,81	70,32	74,25
35	51,68	62,35	70,44	80,76
40	52,18	65,48	71,8	83,74
45	53,16	69,8	72,08	85,1

Fonte: Autor (2017).

Com isso foi possível verificar o comportamento do corante frente a cor como pode ser notado na Figura 14.

**Figura 14: Análise da variação da cor em decorrência do tempo de tingimento de PA com o Corante C.I. Disperse Yellow 211 nas temperaturas: 60 °C e 80 °C.**



Fonte: Autor (2017).

Com a Figura 14, pode ser observado que com o aumento da temperatura de tingimento tem se os resultados de maior diferença de cor. De acordo com Dolzan (2004) as fibras sintéticas devido ao seu processo de fiação e estiragem apresentam modelo estrutural predominante cristalino orientado. Esse modelo estrutural dificulta a absorção de líquido pelas fibras sintéticas.

A fibra sem tratamento é altamente dependente da temperatura para se conseguir maiores valores de força colorística (OLIVEIRA, 2009). Ainda segundo Dolzan (2004) a alta temperatura contribui para uma maior difusão do corante na fibra. Essa difusão ocorre, pois as cadeias poliméricas aumentam sua vibração, facilitando a deposição de moléculas de corante nas regiões amorfas da fibra.

Entre os tingimentos realizados à mesma temperatura, houve maior diferença à medida que o tempo aumentou. Essa diferença ocorre pelo maior tempo de contato entre o complexo e a fibra, sendo assim houve maior tempo para que a CD contribuísse com melhor resultado. Andreaus (2010) demonstra em seus estudos que o tempo é um dos fatores a ser levado em consideração para obter bom rendimento da CD na reação de tingimento. A CD em um tingimento pode ter função de retardante, contribuindo com um tingimento uniforme ao longo de toda amostra. Além da função retardante Venturini (2008) destaca que a CD também tem a capacidade melhorar a solubilidade dos substratos em água.

Uma situação que também pode ser observada é que aos 45 minutos, a variação de cor do tingimento realizado com a CD à 60°C obteve resultado próximo ao tingimento à 80°C sem CD. Essa proximidade de resultados demonstra a grande influência que a CD teve no tingimento da amostra. Que apesar de não contar com uma maior temperatura de tingimento, conseguiu proporcionar resultados próximos ao tingimento de maior temperatura.

## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho os objetivos foram atingidos, foi realizado o tingimento de poliamida com o corante C.I. *Disperse Yellow 211* com  $\beta$ -ciclodextrina a fim de verificar sua influência no tingimento.

A caracterização do corante foi realizada e assim, foi possível avaliar a quantidade de  $\beta$ -ciclodextrina necessária para complexar parcialmente e totalmente a molécula de corante utilizada. A partir dessa caracterização e obtenção do resultado, pode-se obter e analisar os resultados encontrados no FTIR e no TG.

Essa verificação de FTIR permitiu observar a mudança nas bandas espectrais do complexo formado, e verificar qual parte do corante foi complexado pela  $\beta$ -ciclodextrina. A análise termogravimétrica analisou o comportamento do corante,  $\beta$ -ciclodextrina e complexo em altas temperaturas, relacionando-os com a massa.

A  $\beta$ -ciclodextrina como auxiliar de tingimento mostrou bons resultados se comparado aos tingimentos realizados sem a  $\beta$ -CD. A  $\beta$ -CD utilizada em tingimento de menor temperatura obteve resultados próximos ao tingimento realizado em maior temperatura. Esse tingimento em menor temperatura contribui na economia de energia, visto que não será necessário gerar maiores temperaturas para atingir resultados próximos.

Além de apresentar um bom resultado a  $\beta$ -ciclodextrina é um produto natural e biodegradável. Não influenciando em seu descarte ao meio, e pela utilização da  $\beta$ -CD pode-se reduzir a quantidade de corante utilizado, resultando em menor carga de corante dispersado nos efluentes.

Conforme encontrado em diversas literaturas a  $\beta$ -CD apresentou os resultados esperados. E mostrou que é um bom auxiliar no tingimento e que sua utilização é extremamente benéfica para alcançar resultados satisfatórios.

## REFERÊNCIAS

AGUIAR, U. N. *et al.* Preparação e caracterização do complexo de inclusão do óleo essencial de *Croton zehntneri* com  $\beta$ -ciclodextrina. **Química Nova**, [s.l.], v. 37, n. 1, p.50-55, 2014.

ANDREAUS, J. DALMOLIN, M. C.; OLIVEIRA, I. B.; BARCELLOS, I. O. Aplicação de ciclodextrinas em processos têxteis. **Química Nova**, [s.l.], v. 33, n. 4, p. 929-937, 2010.

ARAÚJO, D. R.; PINTO, L. M. A.; BRAGA, A. F. A.; de PAULA, E. **Revista Brasileira de Anestesiologia**, [s.l.], v. 53, n. 5, p. 663-671. 2003.

BAKKIALAKSHMI, S.& MENAKA, T. *Study on the inclusion Interactions of  $\beta$ -Cyclodextrin with Rhodamine B Base.* **International Journal of ChemTech Research**, v. 4: 223 – 231 , 2012.

ARAÚJO, R. G. **Análise das propriedades micro e macroscópicas de blendas de poliamida 4,6/poliamida6.** 2002, 70 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

BAPTISTA, A.C.; BORGES, J.P.; FERREIRA, I. Produção de Biobaterias a Partir de Membranas Obtidas Pela Técnica de Electrofiação. **Ciência & Tecnologia dos Materiais**, Lisboa, v. 22, n. 1, p.2-13, 2010.

BENDER, M. L.; KOMIYAMA, M. **Cyclodextrin Chemistry.** 1. ed. [s.l.], Springer Berlin Heidelberg, 1978.

BEZERRA, F. M. **Utilização de B-Ciclodextrina no Processo de Tingimento de Malhas de Pet com Corante Disperso.** 2012. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2012.

BHASKARA-AMRIT, U.R.; PRAMOD, B.A.; WARMOESKERKEN, M.C.G. *Applications of  $\beta$  –cyclodextrins in textiles.* **AUTEX Research Journal**,n. 11, p. 94-101, 2011.

BROADBENT A. D. (2001) *Basic Principles of Textile Coloration.* Inglaterra: **Society of Dyers and Colourists.** p. 579

CHATAIGNIER, G. **Fio a fio: tecidos, moda e linguagem**. São Paulo: Estação das Letras, 2006.

CIOLA, R. **Fundamentos da Catálise**. São Paulo: Editora Moderna, 1981.

CIRELI, A. YURDAKUL, B. *Application of cyclodextrin to the textile dyeing and washing processes*. **Journal Of Applied Polymer Science**, [s.l.], v. 100, n. 1, p.208-218, 2006.

CLARK, M. **Handbook of Textile and Industrial Dyeing: Principles, Processes and Types of Dyes**. Oxford: Woodhead Publishing, 2011.

CONSELHO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **CONMETRO RESOLUÇÃO N.º 02**,: Regulamentação Técnica de Etiquetagem de Produtos Têxteis. Brasília: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, 2001.

DEORSOLA, A. C.; MOTHÉ, C. G.; OLIVEIRA, L. G. Monitoramento Científico e Análise Térmica de Ciclodextrina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ANÁLISE TÉRMICA E CALORIMETRIA, 9., 2014, Rio de Janeiro. **Artigo**. Serra Negra: Abratec, 2014. p. 1 - 6.

DOLZAN, Neseli. **Tingimento de Fibras Sintéticas com Corante Disperso**. 2004. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

*DIRECT Brown 67*. 2012. Disponível em: <<http://www.worlddyevariety.com/direct-dyes/direct-brown-67.html>>. Acesso em: 31 maio 2016

*DISPERSE Yellow 211*. 2012. Disponível em: <<http://www.worlddyevariety.com/acid-dyes/acid-yellow-1.html>>. Acesso em: 31 maio 2016.

FANTONI, R. F. Como a poliamida substituiu a seda: uma história da descoberta da poliamida 66. **Polímeros**,[s.l.], v. 22, n. 1, p.1-6, 2012.

FRÖMMING, K. H.; Szejtli, J. **Topics in Inclusion Science: Cyclodextrins in Pharmacy**, Kluwer Academic Publishers: Hungria, 1994.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. CORANTES TÊXTEIS. **Química Nova**, Araraquara, v. 1, n. 23, p.71-78, 2000.

GUPTA, V. K.; SUHAS. *Application of low-cost adsorbents for dye removal: a review*. **Journal of environmental management**, v. 90, p. 2313-42, 2009.

HE, J.J.; Ma J. ELSHEIKHA, H.M.; SONG, H.Q.; ZHOU, D.H.; ZHU, X.Q.. *Proteomic Profiling of Mouse Liver following Acute Toxoplasma gondii Infection*. **Plos One**, [s.l.], v. 11, n. 3, p.1-15, 2016.

HO, YS; MCKAY, G. *Kinetic models for the adsorption of dye from aqueous solution by wood*. **Trans. Chem. Eng.**, v.76, p. 83–91, 1998.

KUNZ, A.; ZAMORA, P.P.; MORAES, S.G. e DURÁN, N. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova**, [s.l.], v. 25, n. 1, p.78-82, 2002.

LAGERGREN, S. *Zur theorie der sogenannten adsorption gelöster stoffe*, **K. Sven. Vetenskapsakad**, Handl, v. 24, p. 1-39, 1898.

LANGMUIR, I. *The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum*. **Journal of the American Chemical Society**, v. 40, p.1361-1382,1918.

LOFTSSON, T. **Cyclodextrin and the Biopharmaceutics classification system of drugs**. *Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry*, n. 44, p. 63-67, Outubro 2002.

LOPES, L. C. **Controle Metrológico da Cor Aplicado à Estamparia Digital de Materiais Têxteis**. 2009. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Metrologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

MALIK, P.K. *Use of activated carbons prepared from sawdust and rice-husk for adsorption of acid dyes: a case study of acid Yellow 36*. **Dyes and Pigments** **56**, p. 239-249, 2003.

MARTIN, A.; TABARY, N.; LECLERQ, L.; JUNTHIP, J.; DEGOUTIN, S.; AUBERT-VIARD, F.; CAZAUX, F.; LYSKAWAM J.; JANUS, L. BRIA, M. *Multilayered textile coating based on a  $\beta$ -cyclodextrin polyelectrolyte for the controlled release of drugs*. **Carbohydrate Polymers**, v. 93, p. 718-730, 2013.

MENDONÇA, J. E. B.; BARROS, A. A. R. C.; TAMBOURGI, E. B; SANTANA, J. C. C.; ROSA, J. M. Estudo sobre variações de tonalidade em peças confeccionadas de algodão tingidas com corantes reativos. **Química Têxtil**, [s. l.], v. 122, n. 40, p.46-56, 2016.

MORENVAL, P. P. N. **Análise da Diferença de Cor Entre Exemplares de Cores Munsell**. 2007. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Tecnologia de Polímeros, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

NEIVA, T.. **Tingimento Têxtil Produz Poluição e Desperdício**. 2016. Disponível em: <<http://tanianeiva.com.br/2016/04/13/tingimento-textil-produz-poluicao-e-desperdicio/>>. Acesso em: 29 set. 2016

OLIVEIRA, F. R.. **Tingimento da Poliamida 6.6 com Corantes Ácidos, Reativos e Diretos Após Modificação Superficial Com Descarga Plasmática de Dupla Barreira Dielétrica (DBD)**. 2009. 124 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química Têxtil, Universidade do Minho, Guimarães, 2009.

OLIVEIRA, M. H.. **Principais Matérias-Primas Utilizadas na Indústria Têxtil**. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, Brasília, p.1-40, 1997.

OROZCO, T. **A Melodia das Cores: O sensível, o audível e o visível**. 2015. 87 f. TCC (Graduação) - Curso de Licenciatura em Artes Visuais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

PERES, C. S; ABRAHÃO, A. J. Características e Sistemas de Tratamento de Águas Residuais das Indústrias. Têxteis. **Química Têxtil**, v.21, p.22-39, 1998.

PERKINS, W. S. *Textile coloration and finishing*. **Carolina Academic Press**, 1996.

PRIKRYL, J. *et al. Molecular Complexes of Cl Disperse Yellow 211 with Aromatic Compounds*. **Dyes And Pigments**, Pardubice, v. 26, p.107-120, mar. 1994.

REGO, Jose Kaio Max Alves do. **Efeito da Incorporação de Corantes Fotocromáticos em Matriz de Poli (Metacrilato de Metila)**. 2016. 175 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Materiais e Metalúrgica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016

ROCHA, J. C. **Cor Luz, Cor Pigmento e os Sistemas RGB e CMY**. 2011. Disponível em: <<http://www.belasartes.br/revistabelasartes/downloads/artigos/3/cor-luz-cor-pigmento-e-os-sistemas-rgb-e-cmy.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2017.

ROSA, J. M.; TAMBOURGI, E. B.; SANTANA, J. C. C. *Reuse of Textile Effluent Treated with Advanced Oxidation Process by UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*. **Chemical Engineering Transactions**, v. 26, p. 207-212, 2012.

RUTHVEN, D. M. "**Principles of Adsorption and Adsorption Processes**". New York: John Wiley & Sons, 1984.

SÁ, M. M. A. M. **Aplicação de  $\beta$ -Ciclodextrinas no Tingimento de Materiais Têxteis**. 2008. 144 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química Têxtil, Universidade do Minho, Guimarães, 2008.

SAENGER, W. R.; Jacob, J.; Gessler, K.; Steiner, T.; Hoffmann, D.; Sanbe, H.; Koizumi, K.; Smith, S. M.; Takaha, T. *cyclodecaamilose and higher homologues*. **Angewandte Chemie International Edition**, v.37, p. 606, 1998.

SALEM, V. **Tingimento Têxtil: Fibras, Conceitos e Tecnologias**. São Paulo: Bucher, 2010.

SANTOS, E. A. **Estudo da Influência da  $\beta$ -Ciclodextrina no Tingimento de Poliamida com Corante Disperse Yellow 211**. 2015. 42 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Têxtil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, 2015.

SILVA, F. C. **Ciclodextrinas como veículos para a administração de fármacos**. Disponível em: <[http://www.portaldosfarmacos.ccs.ufrj.br/resenhas\\_ciclodextrinas.html](http://www.portaldosfarmacos.ccs.ufrj.br/resenhas_ciclodextrinas.html)>. Acesso em: 10 abr. 2016.

SILVA, M. G. **Tingimento de seda e lã com corante natural eucalipto**. 2013. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013.

SOUZA, P. I. T. **A Cor e sua Aplicação Prática: Da Teoria da Cor, da Criação de Paletas e Seu Uso em Ilustração**. 2014. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Comunicação Social, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2014.

STANGHELLINI, P.L.; DIANA, E.; BOCCALERI, E.; ROSSETTI, R. *The charge distribution on metal-bonded cyclopentadienyl rings from infrared intensities*. **Journal Organomet. Chem**, v. 594: 36 – 43, 2000.

TELES, R. F.; COSTA, A. F. Influência do Intemperismo Acelerado nas Propriedades Colorimétricas da Madeira de Angelim Pedra. **Nativa**, [s.l.], v. 2, n. 2, p.65-70, 26 jun. 2014. Revista Nativa

VELOSO, L. A. **Corantes e Pigmentos**. Curitiba: Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, 2012.

VENTURINI, C.G.; NICOLINI, J.; MACHADO, C. e MACHADO, V.G. PROPRIEDADES E APLICAÇÕES RECENTES DAS CICLODEXTRINAS. **Química Nova**, Blumenau, v. 31, n. 2, p.360-368, fev. 2008.

VERÍSSIMO, S. A. **Extração, Caracterização e Aplicação do Corante de Urucum (*Bixa orellana L.*) no Tingimento de Fibras Naturais**. 2003. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

VIEIRA, A. C. C.. **Obtenção e caracterização de complexo de inclusão e sistema multicomponentes no incremento da solubilidade do Efavirenz na terapia Anti-HIV**. 2011. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Inovação Terapêutica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

VONČINA, B. *Application of Cyclodextrins in Textile Dyeing*. In: HAUSER, Peter. **Textile Dyeing**. Rijeka: Intech, 2011. p. 375-390.

VONCINA, B.; VIVOD, V.; JAUŁOVEC, D.  *$\beta$ -Cyclodextrin as retarding reagent in polyacrylonitrile dyeing*. **Dyes And Pigments**, [s.l.], v. 74, n. 3, p.642-646, jan. 2007.

WEBER, W.J. & SMITH, J.M. "Simulation and Design Models for Adsorption Processes", **Environ Sci Technol**, v. 21, n.11, p. 1040-1050, 1987.