

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE CIÊNCIAS EXATAS E EDUCAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA TÊXTIL
CURSO DE ENGENHARIA TÊXTIL

Sarah Ferreira

**EMPREGO DE ÓLEO DE SOJA NO TINGIMENTO DE FIBRAS DE ACRÍLICO
COM CORANTES CATIONICOS**

Blumenau

2023

Sarah Ferreira

**EMPREGO DE ÓLEO DE SOJA NO TINGIMENTO DE FIBRAS DE ACRÍLICO
COM CORANTES CATIÔNICOS**

Projeto de Final de Curso submetido ao curso de Engenharia Têxtil do Centro Tecnológico, de Ciências Exatas e Educação da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Têxtil.

Orientador(a): Prof^a. Dr^a. Catia Rosana Lange de Aguiar

Blumenau

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pela autora
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Ferreira, Sarah

Emprego do Óleo de Soja no Tingimento de Fibras de Acrílico
com Corantes Catiônicos / Sarah Ferreira ; orientadora, Catia
Rosana Lange de Aguiar, 2023.

77 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade
Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau, Graduação em
Engenharia Têxtil, Blumenau, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Têxtil. 2. Tingimento. 3. Fibras de acrílico.
4. Corante catiônico. 5. Óleo de soja. I. Aguiar, Catia Rosana
Lange de. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação
em Engenharia Têxtil. III. Título.

Sarah Ferreira

Emprego de óleo de soja no tingimento de fibras de acrílico com corantes catiônicos

Este Projeto Final de Curso II foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Têxtil, e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Têxtil.

Blumenau, 30 de novembro de 2023.



Documento assinado digitalmente

Grazylla Cristina Oliveira de Aguiar

Data: 05/12/2023 10:09:17-0300

CPF: ***.439.299-**

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof^a. Grazylla Cristina Oliveira de Aguiar, Dr^a.

Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente

Catia Rosana Lange de Aguiar

Data: 05/12/2023 12:41:44-0300

CPF: ***.845.219-**

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof^a. Catia Rosana Lange de Aguiar, Dr^a.

Orientadora

Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente

Carlos Rafael Silva de Oliveira

Data: 05/12/2023 09:50:58-0300

CPF: ***.041.159-**

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Carlos Rafael Silva de Oliveira, Dr.

UFSC - DET



Documento assinado digitalmente

Grazylla Cristina Oliveira de Aguiar

Data: 05/12/2023 10:08:53-0300

CPF: ***.439.299-**

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof^a. Grazylla Cristina Oliveira de Aguiar, Dr^a.

UFSC - DET

Dedico este trabalho à minha família.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, expresso minha profunda gratidão à minha família pelo contínuo incentivo e apoio incondicional, não apenas durante a graduação, mas ao longo de todos os anos.

Agradeço ao meu namorado, Rafael Yoshida Oliveira, por sua inestimável companhia e apoio, que se revelaram essenciais ao longo desta jornada acadêmica.

À minha querida professora e orientadora Prof^a. Dr^a. Catia Rosana Lange de Aguiar, agradeço pelas valiosas contribuições, pela confiança depositada e apoio constante.

A todos os meus amigos, em especial, Ana Livia de Andrade, Vinicius Henrique Dalponte, Vinicius Heinz Knaesel e Pedro Edgar Bachmann que estiveram ao meu lado durante estes anos de faculdade e enriqueceram minha experiência acadêmica, meus mais sinceros agradecimentos. Sua amizade incondicional foi fundamental para tornar esta etapa uma fonte de aprendizados.

À Universidade Federal de Santa Catarina por cumprir seu objetivo institucional de fornecer ensino profissional de alto padrão e em especial meus sinceros agradecimentos ao corpo docente da instituição, cuja excelência de ensino foi uma parte fundamental da minha formação.

“O futuro pertence àqueles que acreditam na beleza de seus sonhos.”

(Eleanor Roosevelt)

RESUMO

O beneficiamento têxtil, uma etapa da indústria têxtil, é responsável por um significativo impacto ambiental, devido ao elevado consumo de recursos hídricos e ao emprego de uma grande quantidade de agentes auxiliares nos seus processos. Visando diminuir este impacto, o setor têxtil tem explorado alternativas sustentáveis, como a redução de sal e a incorporação de óleos vegetais nos procedimentos de tingimentos. Em virtude disso, o presente trabalho se propôs a avaliar a viabilidade do uso do óleo de soja, como substituto da água no processo de tingimento de fibras de acrílico com três diferentes corantes catiônicos, com objetivo adicional de diminuir a concentração de sal presente nesta etapa. Inicialmente, foram investigadas diferentes proporções de água e óleo de soja, e concluiu-se que as amostras com indicadores mais satisfatórios em termos de colorimetria para fins de replicação, foram tingidas com a combinação de 75% óleo e 25% água sem cloreto de sódio. Para o corante vermelho, foi alcançado um valor de K/S de 225,60; para o amarelo, 219,11 e, para o azul, 176,89. Posteriormente, as amostras tingidas com esta proporção foram submetidas a testes de solidez à fricção e solidez à lavagem, com intuito de avaliar sua durabilidade e resistência da cor. Confirmou-se que suas propriedades não foram alteradas com a presença do óleo de soja e ausência de sal, uma vez que obtiveram nota máxima na escala de cinza e de branco, comparáveis aos substratos tingidos por métodos convencionais. Após a avaliação das manchas, determinou-se que as amostras previamente identificadas como resultados mais satisfatórios, apresentaram maior homogeneidade de tingimento. Além disso, o banho residual revelou uma baixa concentração de corante remanescente, indicando que os corantes utilizados migraram praticamente por completo para as fibras. O estudo de cinética, mostrou que o modelo de pseudo-primeira ordem mostrou maior ajuste ao método convencional com sal avaliado e, quanto a isoterma, Freundlich exibiu maior ajuste quanto a forma de adsorção do soluto. A eficácia deste tingimento pode ser explicada pelo auxílio do óleo de soja como meio de transporte dos corantes até a fibra, onde o tingimento acontece por meio da fase aquosa. Desta forma, estabelece-se que o beneficiamento secundário de fibras de acrílico é viável mediante o emprego de óleo de soja, resultando em uma redução considerável do consumo de água e sal no processo.

Palavras-chave: Tingimento. Acrílico. Corante catiônico. Óleo de soja.

ABSTRACT

Textile processing, a stage in the textile industry, is responsible for a significant environmental impact due to the high consumption of water resources and the use of a large number of auxiliary agents in its processes. In order to reduce this impact, the textile sector has been exploring sustainable alternatives, such as salt reduction and the incorporation of vegetable oils in dyeing procedures. As a result, this study set out to assess the feasibility of using soybean oil as a substitute for water in the process of dyeing acrylic fibers with three different cationic dyes, with the additional aim of reducing the salt concentration present in this stage. Initially, different proportions of water and soybean oil were investigated, and it was concluded that the samples with the most satisfactory indicators in terms of colorimetry for replication purposes were dyed with the combination of 75% oil and 25% water without sodium chloride. A K/S value of 225.60 was achieved for the red dye, 219.11 for the yellow and 176.89 for the blue. Subsequently, the samples dyed with this proportion were subjected to rubbing fastness and washing fastness tests in order to assess their durability and color resistance. It was confirmed that their properties were not altered by the presence of soybean oil and the absence of salt, since they scored maximum marks on the gray and white scales, comparable to substrates dyed using conventional methods. After evaluating the stains, it was determined that the samples previously identified as having the most satisfactory results showed greater dyeing homogeneity. In addition, the residual bath revealed a low concentration of remaining dye, indicating that the dyes used had migrated almost completely into the fibers. The kinetics study showed that the pseudo-first order model was the best fit for the conventional salt method evaluated and, as for the isotherm, Freundlich showed the best fit for the form of solute adsorption. The effectiveness of this dyeing can be explained by the help of soybean oil as a means of transporting the dyes to the fiber, where the dyeing takes place through the aqueous phase. This establishes that the secondary processing of acrylic fibers is feasible using soybean oil, resulting in a considerable reduction in the consumption of water and salt in the process.

Keywords: Dyeing. Acrylic. Cationic dye. Soybean oil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura química da acrilonitrila e seus comonômeros.....	21
Figura 2 - Seções transversais de fibras de acrílico.....	22
Figura 3 - Fiação a úmido de fibras de acrílico.....	23
Figura 4 - Fiação a seco de fibras de acrílico.....	24
Figura 5 - Formação de sal.....	30
Figura 6 - Espaço de cores CIELab.....	31
Figura 7 - Estrutura molecular do óleo de soja.....	33
Figura 8 - Processo de tingimento.....	39
Figura 9 - Banhos residuais de tingimento convencional com sal.....	50
Figura 10 - Banhos residuais de tingimento 75% óleo e 25% água sem sal.....	50
Figura 11 - Banhos residuais para avaliação de cinética do processo com água e corante.....	51
Figura 12 - Banhos residuais para avaliação de cinética do processo com água, corante e dispersante.....	52
Figura 13 - Cinética de pseudo-primeira ordem para corante Red X-GRL 400%.....	59
Figura 14 - Cinética de pseudo-segunda ordem para corante Red X-GRL 400%.....	59
Figura 15 - Cinética de pseudo-primeira ordem para corante Yellow X-GL 400%.....	60
Figura 16 - Cinética de pseudo-segunda ordem para corante Yellow X-GL 400%.....	60
Figura 17 - Cinética de pseudo-primeira ordem para corante Blue X-GRL 300%.....	61
Figura 18 - Cinética de pseudo-segunda ordem para corante Blue X-GRL 300%.....	61
Figura 19 - Cinética de pseudo-primeira ordem para tingimento sem dispersante e sal.....	62
Figura 20 - Cinética de pseudo-segunda ordem para tingimento sem dispersante e sal.....	62
Figura 21 - Cinética de pseudo-primeira ordem para tingimento com dispersante sem sal.....	63
Figura 22 - Cinética de pseudo-segunda ordem para tingimento com dispersante sem sal.....	63
Figura 23 - Comparativo das cinéticas de tingimento sem sal.....	64
Figura 24 - Isoterma de Langmuir para corante Red X-GRL 400%.....	65
Figura 25 - Isoterma de Freundlich para corante Red X-GRL 400%.....	65
Figura 26 - Isoterma de Langmuir para corante Yellow X-GL 400%.....	66

Figura 27 - Isoterma de Freundlich para corante Yellow X-GL 400%.....	66
Figura 28 - Isoterma de Langmuir para corante Blue X-GRL 300%.....	67
Figura 29 - Isoterma de Freundlich para corante Blue X-GRL 30.....	67
Figura 30 - Isoterma de Langmuir para tingimento com corante e água.....	68
Figura 31 - Isoterma de Freundlich para tingimento com corante e água.....	68

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de corantes e fibras em que são empregados.....	29
Quadro 2 - Publicações sobre óleos.....	35
Quadra 3 - Materiais utilizados.....	37
Quadro 4 - Equipamentos utilizados.....	37
Quadro 5 - Meadas de fibra de acrílico após tingimentos.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade de água e óleo nos tingimentos.....	38
Tabela 2 - Coordenadas colorimétricas dos tingimentos com corante básico vermelho.....	46
Tabela 3 - Coordenadas colorimétricas dos tingimentos com corante básico amarelo.....	47
Tabela 4 - Coordenadas colorimétricas dos tingimentos com corante básico azul.....	48
Tabela 5 - Percentual de esgotamento do corante no banho após o tingimento.....	49
Tabela 6 - Percentual de esgotamento do corante no banho após o tingimento, para avaliação dos auxiliares.....	51
Tabela 7 - ΔE das amostras tingidas com corante vermelho.....	52
Tabela 8 - Desvio de cor das amostras tingidas com corante amarelo.....	53
Tabela 9 - Desvio de cor das amostras tingidas com corante azul.....	53
Tabela 10 - Notas de solidez à fricção à seco.....	54
Tabela 11 - Notas de solidez à fricção à úmido.....	55
Tabela 12 - Notas de solidez à lavagem da escala de cinza.....	56
Tabela 13 - Notas de solidez à lavagem da escala de branco.....	57
Tabela 14 - Desvio de cor após teste de solidez à luz.....	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

VAc	Acetato de vinila
Ma	Acrilato de metila
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Abit	Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção
ΔE	Diferença total de cor
MMA	Metil metacrilato
PAC	Poliacrilonitrila
pH	Potencial hidrogeniônico
s.p.m	Sobre o peso do material

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	OBJETIVOS.....	19
1.2.1	Objetivo geral.....	19
1.2.2	Objetivos específicos.....	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
2.1	FIBRAS DE ACRÍLICO.....	20
2.1.1	Produção da fibra de acrílico.....	22
2.2	BENEFICIAMENTO TÊXTIL.....	24
2.2.1	Tingimento.....	25
2.2.1.1	Cinética de tingimento.....	25
2.2.1.2	Isotermas de adsorção.....	27
2.3	CORANTES.....	28
2.3.1	Corantes catiônicos.....	29
2.4	COLORIMETRIA.....	31
2.5	ÓLEO DE SOJA.....	32
2.6	SURFACTANTES.....	33
2.7	ESTADO DA ARTE DO TINGIMENTO COM EMPREGO DE ÓLEO DE SOJA... 34	
3	METODOLOGIA.....	37
3.1	MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS.....	37
3.2	TINGIMENTO.....	38
3.2.2	Redução de sal.....	41
3.3	ANÁLISES COLORIMÉTRICAS.....	41
3.4	AVALIAÇÃO DE MANCHAMENTO.....	41
3.5	AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE SOLIDEZ DA COR.....	42
3.5.1	Solidez à fricção.....	42
3.5.2	Solidez à lavagem.....	42
3.5.3	Solidez à luz.....	42

3.6	DETERMINAÇÃO DA CINÉTICA DE TINGIMENTO.....	43
3.7	DETERMINAÇÃO DAS ISOTERMAS DE ADSORÇÃO.....	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
4.1	TINGIMENTO.....	44
4.1.2	Esgotamento.....	48
4.1.3	Avaliação de manchamento.....	49
4.2	SOLIDEZ DA COR.....	52
4.2.1	Solidez à fricção.....	52
4.2.2	Solidez à lavagem.....	53
4.2.3	Solidez à luz.....	55
4.4	CINÉTICA DE TINGIMENTO.....	56
4.5	ISOTERMAS DE ADSORÇÃO.....	59
5	CONCLUSÃO.....	63
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	64
	REFERÊNCIAS.....	65
	APÊNDICE - Curva de calibração.....	70

1 INTRODUÇÃO

Dois terços da superfície do planeta terra são cobertos de água. Esta porção equivale a cerca de 360 milhões de km² de um total de 510 milhões de km², entretanto, é imprescindível mencionar que apenas 2% desta água é doce e própria para consumo humano. A água é uma fonte utilizada para diferentes fins, como agricultura, geração de energia, agropecuária, navegação, lazer, harmonia paisagística e uma variedade de procedimentos da indústria têxtil (MARENGO, 2008).

O Brasil apresenta uma ampla variedade climática devido a algumas de suas características, como configuração geográfica, altitude, extensão territorial, relevo e dinâmica das massas de ar. Ele também apresenta uma elevada pluviometria entre 1.000 e 3.000 mm/ano que alcança 90% de seu território (REBOUÇAS, 2003). Além disso, o país possui um enorme privilégio em termos de recursos hídricos. Sua vazão média anual dos rios é de, aproximadamente, 180 mil m³/s, que equivale a aproximadamente 12% da disponibilidade de água em todo o mundo, mas sua distribuição está diretamente ligada ao clima, devido a variabilidade do ciclo de chuvas, associados aos fenômenos El Niño e La Niña, e alterações de temperatura. A amazônia apresenta 74% dos recursos hídricos superficiais, entretanto é habitada por menos de 5% da população brasileira (MARENGO, 2008).

Todos os seres humanos necessitam, indistintamente, de água para sua sobrevivência, de maneira direta e indireta. Por conta disso, a crise hídrica mundial tem se tornado pauta de importantes discussões na última década. Este problema multifacetado é agravado quando considera-se a quantidade de água que é desperdiçada e contaminada todos os anos (GOMES, 2011). É fundamental compreender que este se trata de um problema ligado não apenas ao meio ambiente, mas, também, à economia, política, sociedade e saúde pública (BOËCHAT, 2021).

A contaminação da água é um tópico fundamental a ser explorado, uma vez que o descarte indevido de efluentes contaminados tornam os mananciais abastecedores impróprios para uso humano. Este é um dos grandes desafios das indústrias, em especial, a têxtil. Isto se dá pela numerosa quantidade de componentes auxiliares e corantes que são utilizados em seus processos (FERREIRA; KELLER; SILVA, 2009). Referidos componentes são fundamentais no beneficiamento secundário das fibras, dentre elas, a fibra de acrílico. A água atua como principal meio de transporte do corante do banho de tingimento até a superfície do substrato, além disso, é essencial para o funcionamento correto das fases de advecção, adsorção e difusão do colorante da parte exterior para o interior do material.

É no beneficiamento secundário que ocorrem os tingimentos de substratos têxteis sendo, também, a etapa do processo que apresenta o maior consumo de insumos químicos e água. O descarte indevido destes produtos torna a indústria têxtil uma das maiores poluentes em todo o mundo. O descarte indevido de seus efluentes pode ser extremamente danoso à vida humana e aquática e, mesmo após seu tratamento, é comum que resíduos permaneçam em sua composição (SALEM, 2010). Tendo em vista este problema, inúmeras pesquisas têm sido desenvolvidas a fim de tentar minimizar os impactos gerados pelas empresas do setor. Dentre elas, estão métodos alternativos que visam diminuir a relação de banho dos procedimentos, redução de sal e auxiliares químicos, além de tingimentos não-aquosos (BAIRABATHINA *et. al.*, 2022; PEI *et. al.*, 2022).

De acordo com o presidente da Associação Brasileira da Indústria Têxtil (Abit), Rafael Cerro Neto, o prejuízo ocasionado pela escassez de água no setor têxtil é incalculável, tamanha necessidade deste insumo para realização dos processos. A falta deste recurso, afeta diretamente todos os elos da cadeia, em especial, os beneficiamentos e a tinturaria (FIORIO, 2023).

O presente trabalho buscou desenvolver uma nova metodologia de tingimento de fibras de acrílico, empregando óleo de soja em conjunto com corante catiônico. Neste viés, buscou-se avaliar a efetividade de um tingimento não-aquoso sem sal e a sua capacidade de reprodutibilidade. Esta pesquisa foi fomentada pela carência de estudos nesta área, o que indica uma gama de possibilidades de estudo para desenvolvimento de processos mais sustentáveis. Como hipótese, tem-se que o tingimento desenvolvido alcance os níveis tintoriais semelhantes ao resultado de métodos convencionais.

1.1 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar o potencial de tingimento de fios de 100% acrílico com emprego de óleo de soja com diferentes corantes catiônicos, visando redução de água.

1.2.2 Objetivos específicos

- Efetuar tingimentos de fios com composição 100% acrílico com os corantes catiônicos amarelo, vermelho e azul no processo convencional com água, bem como com emprego de óleo de soja;
- Avaliar a eficiência do tingimento de acrílico com emprego de óleo de soja;
- Avaliar a influência da redução de água e sal no processo de tingimento de acrílico;
- Avaliar o grau de manchamento do tingimento de acrílico com óleo de soja;
- Realizar avaliação colorística dos substratos tingidos;
- Aferir a adesão dos corantes catiônicos no tingimento com óleo de soja por meio de testes de solidez à lavagem, à fricção e à luz;
- Identificar os mecanismos de tingimento de acrílico com óleo de soja por meio de modelos matemáticos de cinética e isotermas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

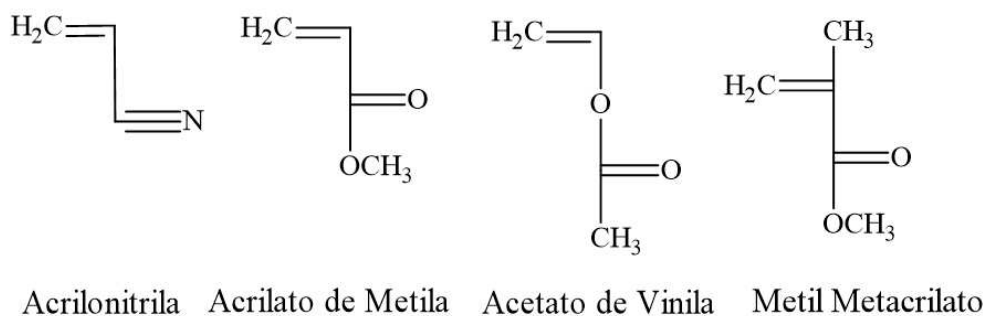
2.1 FIBRAS DE ACRÍLICO

No ano de 1948, a companhia americana DuPont de Nemours anunciou seu desejo de introduzir no mercado uma nova fibra de origem sintética, denominada “Orlon”, cuja composição poderia ser completa ou parcialmente formada por acrilonitrila (HOUTZ, 1950).

Após o grande sucesso da fibra de poliamida, também conhecida como “nylon”, a empresa decidiu intensificar suas pesquisas na área de materiais poliméricos. A ideia de utilizar poliacrilonitrila para a confecção de substratos passou a ser estudada, pois já era patenteada, entretanto, para seu emprego, foi necessário ultrapassar um grande obstáculo: identificar um solvente não convencional para a fiação deste material, uma vez que processos convencionais poderiam degradá-lo. O pesquisador químico R. C. Houtz se juntou ao projeto e identificou uma gama de solventes orgânicos com grande potencial de valor comercial, dentre eles, dimetilformamida, que apresentava uma ótima solubilidade com o polímero, um alto ponto de ebulição, que permitiria uma variedade de processos durante a produção da fibra e, além disso, poderia ser produzido com baixo custo. Após ter sido desenvolvida, a Orlon demonstrou problemas de tingibilidade, o que levou a novos estudos a respeito dos copolímeros, resultando em um novo corante catiônico, capaz de tingir a fibra de maneira eficiente (MASSON, 1995). O novo produto da Dupont apresentou uma rápida aceitação e tornou-se o segundo mais vendido da marca, ficando atrás apenas do Nylon. Ele apresentou uma rápida expansão na Europa e oriente, e não tardou até que a Ásia se tornasse o seu maior produtor, desenvolvendo tecnologias para que o polímero pudesse ser adaptado para diferentes produtos (CAPONE; MASSON, 2002).

De acordo com Eichhorn (2009), as fibras de acrílico são classificadas como fibras sintéticas, desenvolvidas a partir do polímero poliacrilonitrila (PAC), cuja sintetização ocorre por meio da polimerização de um monômero de acrilonitrila (AN). Estas fibras apresentam em sua constituição mais 85% em massa de unidade de acrilonitrila, além da presença de outros comonômeros como acrilato de metila (MA), acetato de vinila (VAc) e metil metacrilato (MMA), que são essenciais para conferir algumas das importantes propriedades do material, como aumento da capacidade de tingibilidade e caráter aniônico. É possível observar a estrutura de cada um deles na Figura 1.

Figura 1- Estrutura química da acrilonitrila e seus comonômeros.



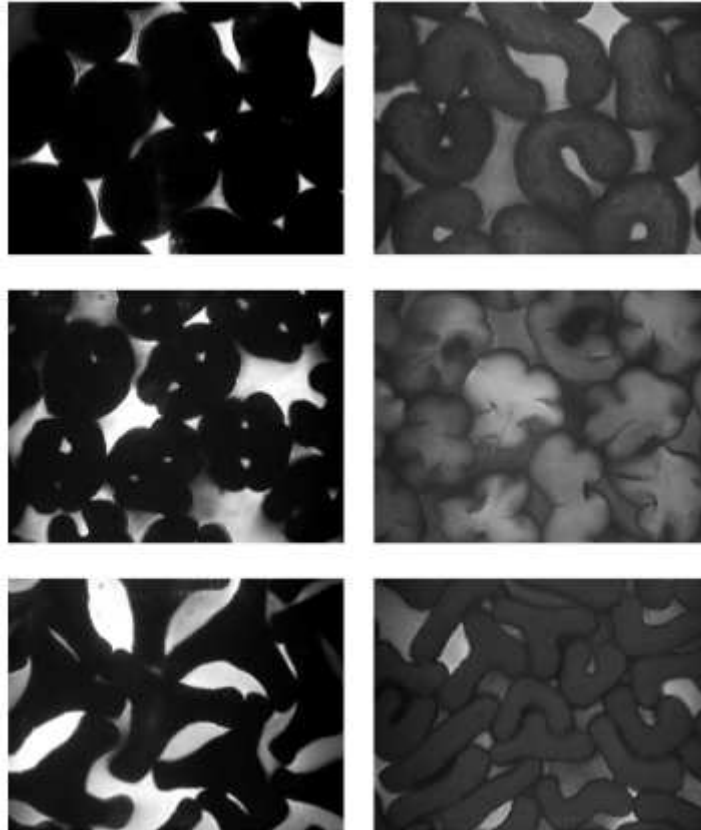
Fonte: Adaptado de Eichhorn (2009).

A poliacrilonitrila é um polímero termicamente instável e apresenta dificuldade no processo de fiação, pois é degradado sob aquecimento, antes de alcançar o ponto de fusão, além de ser insolúvel em solventes gerais (BRITO, 2013; EICHORN, 2009). Por conta disso, sua fiação ocorre por meio do método de fiação da solução, em que o polímero é solubilizado em um solvente, gerando uma solução polimérica, sendo ela coloidal ou em gel, que é passada dentro de orifícios capilares em uma fieira (BRITO, 2013). Após a etapa de fiação da poliacrilonitrila, a fibra pode ser submetida a uma série de tratamentos para melhorar ou desenvolver as propriedades desejadas e, até mesmo, alterar características físicas (HOUCK, 2009).

De acordo com Eichhorn (2009), as fibras de acrílico podem apresentar uma variedade de formatos, quando analisadas suas seções transversais. Tal característica é resultado do método empregado para sua sintetização, em que são utilizadas fieiras moldadas e condições de coagulação determinadas para cada formato desejado. O formato arredondado pode ser obtido a partir da utilização de uma fieira com formato redondo ou por meio do aumento da taxa de coagulação com a finalidade de formar uma camada espessa que garantirá o seu formato; a seção transversal com aparência de haltere pode ser alcançada por meio da formação de uma fina película no processo de coagulação e o volume é reduzido no centro com a difusão de um solvente; os formatos de estrela, C e H são gerados com o auxílio de uma fieira do modelo desejado e com parâmetros de coagulação específicos para a formação da seção desejada. Além do mais, os formatos circulares e de halter também podem ser desenvolvidos a partir da fiação a seco, pois o solvente é removido por calor, mas a porção exterior solidifica-se mais rapidamente do que a interior, resultando em uma estrutura espessa. Conforme o solvente espalha-se do núcleo no sentido da camada, ela torna-se mais fina e, aos

poucos, o formato de halter ou circular é formado. É possível observar na Figura 2 alguns dos possíveis formatos das fibras de acrílico.

Figura 2 - Seções transversais de fibras de acrílico.



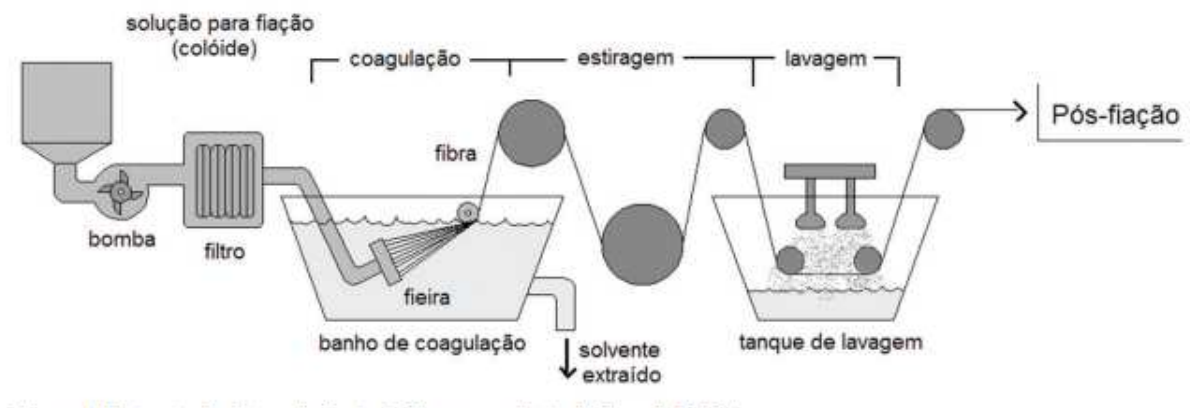
Fonte: Eichhorn (2009).

2.1.1 Produção da fibra de acrílico

O processo de fiação a úmido de fibras de poliacrilonitrila inicia-se com o desenvolvimento de uma solução, por meio da dissolução do polímero em um solvente altamente polar, como a dimetilformamida (DMF). A solução produzida passa por um processo de filtração e, em seguida, é bombeada para as feiras que ficam posicionadas dentro de um banho de coagulação, onde o solvente é removido para ser reaproveitado no processo (BRITO, 2013). As fibras geradas são lavadas após a etapa de coagulação a fim de remover o solvente remanescente e depois disso recebem óleo de ensimagem, que confere lubrificação, proteção das suas características e redução da carga eletrostática, a fim de minimizar a aderência das fibras nos componentes de estiragem (MARSAL AMENÓS, 2012).

As fibras são tensionadas por cilindros em todo processo de fiação, para que haja maior orientação molecular no material e, por conseguinte, um aumento das propriedades mecânicas do mesmo (CLARK, 2011a).

Figura 3 - Fiação a úmido de fibras de acrílico.

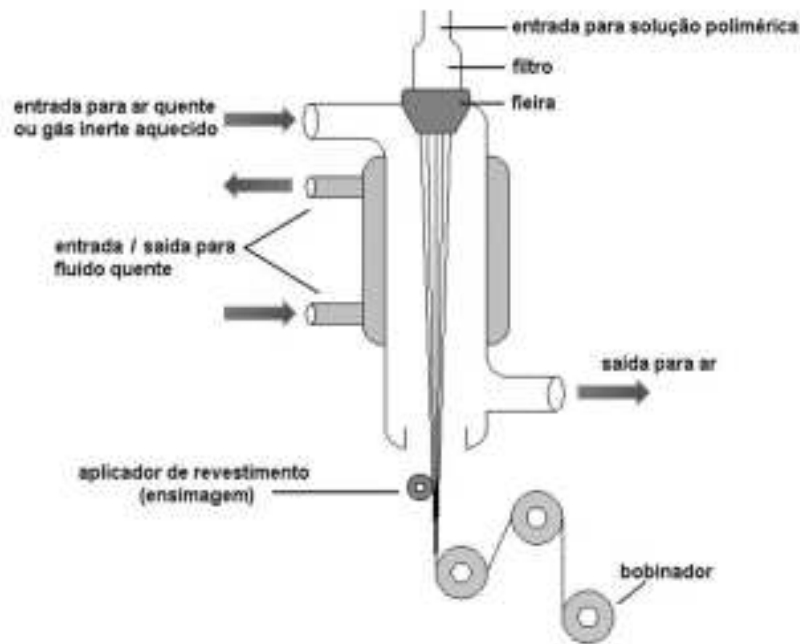


Fonte: Brito (2013).

A fiação a seco é considerada relativamente simples. Neste processo, a poliácrlonitrila atravessa uma fieira, por onde será precipitada em forma de fibra. Ao sair dela por uma célula de fiação, que pode alcançar até 10 metros de comprimento, os solventes que pré-existiam no material, passam a ser evaporados por meio de gás quente ou inerte, com temperatura acima do ponto de ebulição, que se dá por volta de 200°C. O solvente removido é recuperado ao sair do processo, por meio da destilação (BRITO, 2013).

A fibra de acrílico obtida pela fiação a seco pode ter suas características moldadas por diferentes fatores. A baixa viscosidade intrínseca da poliácrlonitrila pode comprometer a estrutura das fibras sob altas temperaturas, resultando em rupturas. Outro parâmetro que deve ser regulado é a taxa de fluxo de gás excessiva, que pode ocasionar turbulência, responsável pela colagem das fibras (EICHHORN, 2009).

Figura 4 - Fiação a seco de fibras de acrílico.



Fonte: Brito (2013).

2.2 BENEFICIAMENTO TÊXTIL

O beneficiamento têxtil é uma arte milenar, capaz de conferir características que enobrecem o tecido por meio do melhoramento de características físicas, químicas e estéticas (KARMAKAR, 1999; BROADBENT, 2001). Sua classificação pode ser dividida em primário, secundário e terciário.

O primeiro está ligado ao preparo do substrato têxtil para recebimento dos acabamentos subsequentes, em que ocorrem adição de colorantes, estampas e funcionalizações. Neste momento, sujidades, gomas, óleos e graxas são removidos de sua superfície (CLARK, 2011a).

O segundo é caracterizado pela coloração do material, por meio de processos de tingimento e ou estamparia. O emprego de corantes e pigmentos deve ser adequado para cada matéria-prima utilizada, bem como o método utilizado (SALEM, 2010).

O terceiro, por fim, adição e melhoramento de propriedades físicas, químicas e mecânicas, por meio da adição de amaciantes, agentes funcionalizados com capacidade de desenvolver diferentes tipos de proteções, aplicação de micro e nanocápsulas e acabamentos hidrofóbicos (SALEM, 2010).

2.2.1 Tingimento

O ser humano interessa-se pela coloração há mais de 4.000 anos e, com o passar do tempo, os métodos foram aprimorados até chegar nos dias atuais. Inicialmente, os processos eram realizados manualmente, com corantes naturais, de origem animal e vegetal e os substratos mais utilizados no passado eram couros e fibras naturais, como algodão e linho. Com o passar do tempo, os substratos artificiais e sintéticos passaram a ser produzidos e, para isso, foi necessário ampliar o número de corantes e auxiliares (SALEM, 2010).

O tingimento têxtil trata-se de um processo composto com alterações físico-químicas das fibras, que conta com adição de substâncias colorantes capazes de gerar percepção de cor através de uma luz refletida. Seu principal objetivo é o enobrecimento de substratos por meio da adição de cor e para isso, uma série de parâmetros devem ser controlados para um resultado uniformizado, como características das fibras, pré-tratamentos, tempo e temperatura de processo. Além disso, três etapas são fundamentais para o seu correto funcionamento: advecção, adsorção e difusão (SALEM, 2010). A primeira trata-se da passagem do corante para a superfície das fibras, por meio da agitação do banho ou do substrato dentro dele; a segunda refere-se a deposição do corante em regiões porosas e acessíveis da fibra e, por fim, o terceiro está ligado a entrada do material colorante no interior dela (CLARK, 2011a).

De acordo com Salem (2010), os processos de beneficiamento secundário podem ocorrer através de dois métodos: contínuo e por batelada. No tingimento contínuo, o banho mantém-se estacionado, enquanto o substrato movimenta-se nele continuamente, antes de ser espremido mecanicamente e fixado por calor seco ou vapor. Os métodos por batelada consistem no deslocamento de corante para a fibra por meio de esgotamento e ocorre contato frequente entre eles devido a movimentação de um deles ou de ambos.

Para melhor compreensão do funcionamento de um tingimento, é necessário compreender os conceitos de cinética de tingimento e isoterma de adsorção dos substratos têxteis. Dessa forma, é possível obter informações precisas sobre ele, permitindo seu aprimoramento (CLARK, 2011a).

2.2.1.1 Cinética de tingimento

Segundo Giacomini (2014), os estudos cinéticos são fundamentais para a compreensão e análise do efeito do tempo sobre as interações que ocorrem entre adsorvente e adsorvato nos processos de beneficiamento. Além disso, eles permitem entender a fundo os

aspectos que podem influenciar a velocidade de um tingimento, como a taxa de difusão de corante no material, a fixação de corante na superfície do material, taxa de reação química entre corante e substrato e cinética de adsorção.

Para isso, dois modelos são largamente utilizados: o de pseudo-primeira e o de pseudo-segunda ordem. A adequação do processo ao primeiro modelo indica uma natureza de adsorção física, enquanto o segundo, sugere maior interação química entre substrato e corante (HO; MCKAY, 1999; REVELLAME *et al.*, 2020).

Pode-se caracterizar a Equação 1 como a forma linearizada do modelo de pseudo-primeira ordem e a Equação 2, do modelo de pseudo-segunda ordem.

$$\log(qe - qt) = \log(qe) - \left(\frac{K}{2,303}\right)t \quad (1)$$

Onde:

- K (min^{-1}): constante de taxa de adsorção de pseudo-primeira ordem;
- t (min): tempo da adsorção;
- qt (mg/g): capacidade de adsorção em determinado tempo;
- qe (mg/g): capacidade de adsorção em equilíbrio.

Por meio do gráfico de $\log(qe - qt)$ versus t gerado, é possível obter uma reta com coeficiente linear $\log(qe)$ e coeficiente angular $-K$. Por meio dela, é possível determinar a constante cinética (K) e a massa de corante adsorvida por sólido nas condições de equilíbrio (qe).

A partir da Equação 2, é construído um gráfico t/qt versus t que origina uma reta com coeficientes linear e angular, respectivamente, $1/qe$ e $1/(K \cdot qe^2)$. Desta maneira, é possível identificar a massa de soluto adsorvida por grama de sólido em equilíbrio (qe) e a constante cinética (K).

$$\left(\frac{t}{qt}\right) = \frac{1}{(K \cdot qe^2)} + \left(\frac{1}{qe}\right)t \quad (2)$$

Onde:

- K ($\text{g} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$): constante de taxa de adsorção;
- t (min): tempo;
- qt (mg/g): concentração de soluto na superfície do adsorvente;
- qe (mg/g): concentração de soluto adsorvido no equilíbrio.

2.2.1.2 Isotermas de adsorção

As isotermas de adsorção dos processos de tingimento, são caracterizadas pela relação entre a quantidade de corante absorvido por um determinado substrato e a concentração de corante presente no banho ao longo do tempo (NASCIMENTO *et al.*, 2014). Suas características podem ser alteradas por diferentes fatores, como concentração das substâncias, temperatura, pH, eletrólitos e auxiliares (GIACOMINI, 2014).

Para avaliação das isotermas, alguns modelos podem ser empregados, porém, os mais usados são o de Langmuir e de Freundlich. A primeira, foi desenvolvida, inicialmente, para descrever a adsorção de gases em superfícies metálicas. Esta teoria defende que os sítios de sorção encontram-se com quantidade limitada e a velocidade de sorção é proporcional ao número de sítios desocupados, bem como a concentração das moléculas com a fase sólida (CLARK, 2011b). É possível observar esta suposição por meio da Equação 3.

$$qe = \frac{q_{max} \cdot K_L \cdot C_e}{1 + K_L \cdot C_e} \quad (3)$$

Onde:

- q_{max} (mg/g) = quantidade máxima de corante por unidade de massa de fibra capaz de formar uma cobertura da monocamada da superfície;
- qe (mg/g de fibra) = quantidade de corante adsorvido por grama de fibra;
- K_L (L/mg) = constante de Langmuir relacionada com a afinidade dos sítios de ligação;
- C_e (mg/L) = concentração de corante em equilíbrio na fase líquida.

Na Equação 4, é possível observar o modelo de Langmuir linearizado.

$$\frac{1}{qe} = \frac{1}{q_{max}} + \frac{1}{q_{max} \cdot K_L \cdot C_e} \quad (4)$$

Por meio do desenvolvimento do gráfico de $1/C_e$ versus $1/qe$ é possível obter q_{max} através do coeficiente linear e de K_L por meio do coeficiente angular. A partir destes dados, é

possível encontrar R_L , o parâmetro de equilíbrio, que pode ser calculado utilizando a Equação 5.

$$R_L = \frac{1}{(1+K_L \cdot q_{max})} \quad (5)$$

O principal emprego da isoterma de Freundlich se dá quando não há limitação de sítios específicos de adsorção. As interações que ocorrem entre fibra e corante são fracas e caracterizadas pela presença de forças de Van de Waals, fazendo com que não ocorra a saturação completa da fibra. Portanto, as fibras terão maior adesão de corante, quanto maior for a concentração de colorantes no banho (BROADBENT, 2001; KUMAR et al., 2010).

É possível observar a equação linearizada de Freundlich na Equação 7, que é descrita por meio da Equação 6.

$$qe = K_F \cdot C_e^n \quad (6)$$

Onde:

- K_F (L/g) = constante de equilíbrio de adsorção de Freundlich;
- C_e (mg/L) = concentração de corante em equilíbrio na fase líquida;
- n = fator de heterogeneidade.

$$\ln q_e = \ln K_F + n \ln C_e \quad (7)$$

De acordo com Nascimento *et al.* (2014), é possível determinar K_F e n por meio de uma regressão linear, onde o gráfico de $\ln q_e$ e $\ln C_e$ desenvolvido a partir dos dados obtidos irá fornecer o intercepto de K_F e a inclinação de n .

2.3 CORANTES

Por mais de 4.000, o tingimento têxtil tem sido registrado ao redor do mundo. Seu valor histórico é inquestionável e nos permite compreender a fundo os impactos de materiais colorantes dentro das sociedades. Até 150 anos atrás, todos os corantes e pigmentos possuíam origem natural, sendo extraídos de plantas e organismos, e por conta da escassez de alguns deles, substratos tingidos de boa qualidade chegaram a ter preço de ouro e prata (FERREIRA *et al.*, 2009).

De acordo com Salem (2010), os corantes são classificados como substâncias orgânicas capazes de conferir cor à substratos têxteis, por meio do processo de tingimento, em que ocorre uma alteração físico-química dos tecidos, de maneira que a luz refletida gere a percepção de uma determinada cor. Atualmente, é possível encontrar uma vasta gama de corantes, cujas particularidades estruturais e moleculares estão diretamente ligadas às suas aplicações. É de conhecimento geral que fibras têxteis podem apresentar características muito distintas e, por conta disso, requerem processos têxteis muito particulares e, portanto, os materiais colorantes empregados devem ser compatíveis com cada uma delas, como pode ser observado no Quadro 1.

Quadro 1 - Tipos de corantes e fibras em que são empregados.

Corante	Fibras
Disperso	Poliéster
Direto	Algodão; Lã; Seda; Poliamida
Reativo	Algodão; Lã; Seda; Poliamida
Básico (Catiônico)	Acrílicas
Complexos Metálicos	Lã; Poliamida
Enxofre	Algodão
Ácido	Poliamida; Nylon
Azóico	Celulósicas

Fonte: Adaptado de Salem (2010).

2.3.1 Corantes catiônicos

Com emprego de corantes e pigmentos de origem animal e vegetal até meados do século XIX, problemas de reprodutibilidade, baixa substantividade e falta de insumos era muito frequente. Entretanto, este cenário apresentou uma drástica mudança a partir da descoberta do primeiro corante sintético, feita por William Henry Perkin, um químico inglês, capaz de conferir coloração permanente à lã e à seda. Ele realizou a sintetização de quinino por meio da oxidação de anilina com bicromato de potássio, que gerou um corante violeta, nomeado *Mauvine* (CLARK, 2011a). Desta maneira, originou-se o primeiro corante catiônico,

que recebeu este nome devido à sua ionização na água, responsável por produzir cátions coloridos.

Sua inovação se tornou um grande sucesso e foi considerada revolucionária, não apenas por desenvolver novos meios de produção, mas por atender a diversos problemas técnicos identificados pelos consumidores com os métodos anteriores (HOLME, 2006). Além do mais, o surgimento deste sintético fez com que as pesquisas nesta área aumentassem consideravelmente e, nos anos subsequentes, foram registradas novas cores e categorias, como os corantes azo, desenvolvidos por Bismark Brown.

Esta classe de corantes é, também, denominada “Básica”, uma vez que se origina de bases orgânicas e são capazes de formar sais como pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 - Formação de sal.



Fonte: Adaptado de Clark (2011b).

Possuem propriedades únicas e, em certos casos, como a intensidade de cores, dificilmente são reproduzidas por outros corantes. O magenta ácido, por exemplo, requer o dobro de quantidade para tingir uma amostra de lã por completo. Entretanto, um importante aspecto a ser mencionado, trata-se da dificuldade de solubilizar este material em água, sendo necessário utilizar altas temperaturas para auxiliar neste processo (CLARK, 2011b).

Atualmente, umas de suas principais aplicações são as fibras de acrílico. O tingimento ocorre em três importantes fases: a primeira em que os cátions do corante migram para os sítios aniônicos da fibra; o segundo onde ocorre a difusão do material para o interior da fibra e, em terceiro, ocorre uma ligação entre cátions e grupos ácidos das fibras, gerando ligações salinas. Estas ligações, por sua vez, podem explicar a excelente solidez aos tratamentos úmidos, quando associadas ao fechamento das fibras. Além disso, deve-se atentar a uma série de parâmetros que são fundamentais para um tingimento homogêneo do acrílico, como o controle de pH, que deve manter-se entre 4,0 e 4,5, velocidade de tingimento, temperatura, fator de saturação da fibra e do corante (SALEM, 2010).

2.4 COLORIMETRIA

A colorimetria é o estudo de cores, responsável por quantificar e descrever a percepção humana da cor, convertendo-as em escalas numéricas (CHOUDHURY, 2014). Ela é fundamental durante o processo de beneficiamento, pois além de possibilitar o desenvolvimento de tricromias, auxilia no controle de qualidade dos substratos, desta forma, é possível avaliar a igualização e efetividade do tingimento. Sua realização se dá por meio da utilização de um espectrofotômetro (BROADBENT, 2001).

A partir deste estudo, é possível identificar a força colorística (K/S) de uma amostra. Para calcular este parâmetro, utiliza-se a Equação 8, fundamentada na relação Kubelka-Munk.

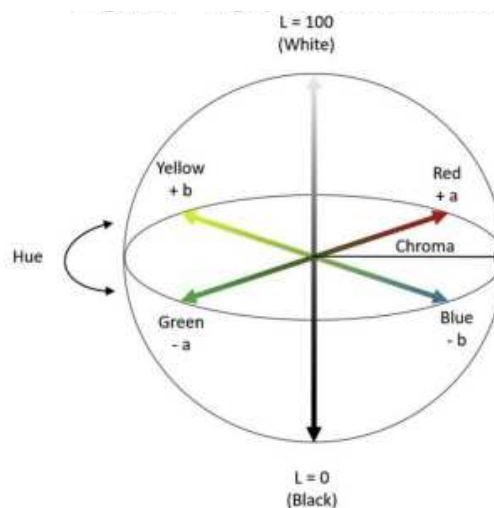
$$\frac{K}{s} = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (8)$$

Onde:

- K/S = força colorística;
- K = coeficiente de absorção;
- S = coeficiente de difusão da luz;
- R = fração de reflectância.

O espaço tridimensional de cores apresentado na Figura 6 é fundamental para a representação da cor. Desta forma, é possível localizar por meio das coordenadas colorimétricas, a tonalidade em um espaço de cor.

Figura 6 - Espaço de cores CIELab.



Fonte: Ly et al. (2020).

Nesta classificação de representação colorística, os eixos abrangem cores de vermelho, a^* , a verde, b^* que correspondem aos eixos amarelo e azul. O parâmetro L^* está ligado a luminosidade da cor (CHOUDHURY, 2015).

Após a obtenção destas coordenadas, é possível encontrar a distância entre cores, por meio da Equação 9.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta a + \Delta b + \Delta L} \quad (9)$$

Onde:

- Δa = Diferença entre coordenadas a^* ;
- Δb = Diferença entre coordenadas b^* ;
- ΔL = Diferença entre coordenadas L^* .

2.5 ÓLEO DE SOJA

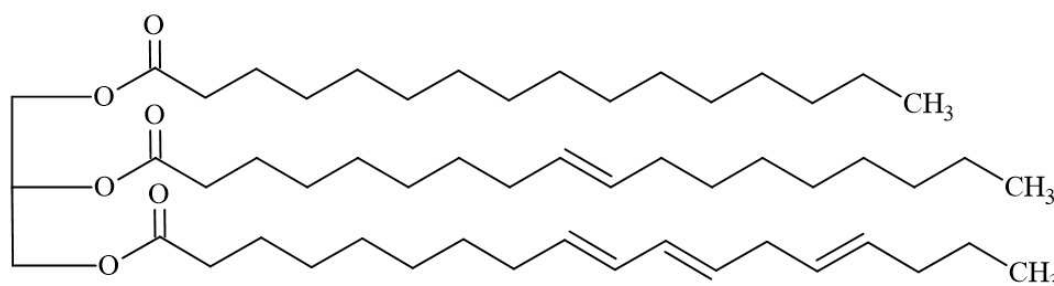
O óleo de soja, como o próprio nome sugere, é obtido a partir de uma das commodities dominantes no mercado mundial. O sucesso da soja pode ser explicado por uma variedade de fatores, dentre elas as características agrônômicas favoráveis, uma vez que as produções podem alcançar três safras anuais, pode ser utilizado como ração para animais, apresenta uma vasta aplicação para consumo humano e a possível causa do seu enorme sucesso pode ser explicado pela sua composição rica em proteínas (ERICKSON, 2015). Há registros de sua utilização no Oriente há centenas de anos, entretanto, só passou a ser comercializada no Brasil por volta dos anos 60, no Rio Grande do Sul (EMBRAPA, 2018).

A soja costuma apresentar um formato esférico que pode variar de acordo com o cultivo. Sua semente em três partes fundamentais: tegumento, responsável pelo seu revestimento; cotilédones e hipocótilo, localizado na parte exterior da semente. O processamento da soja se dá por meio da extração do óleo com auxílio de um solvente, que posteriormente, também será processado. Este óleo é composto, majoritariamente, por triglicerídeos e, em menor escala, por fosfatídeos, matéria insaponificável, ácidos graxos, esteróis vegetais e hidrocarbonetos (PATZEK, 2009).

Sua composição é caracterizada pela presença de um conjunto de aminoácidos e ácidos graxos que possibilitam uma variedade de aplicações. Além do mais, apresenta

algumas vantagens em relação a outros óleos como um alto nível de insaturação, a capacidade de se manter líquido em uma ampla faixa de temperatura, pode ser facilmente processado para remoção de fosfatídeos, metais e sabão, melhorando sua estabilidade e apresenta antioxidantes naturais (ERICKSON, 2015). É possível observar a estrutura molecular de óleo de soja convencional na Figura 7.

Figura 7 - Estrutura molecular do óleo de soja.



Fonte: Adaptado de Patzek (2008).

2.6 SURFACTANTES

Os surfactantes, ou tensoativos, são uma classe de auxiliares com a capacidade de reduzir a tensão superficial de líquidos. Suas moléculas são constituídas por grupos lipofílicos e hidrofílicos; o primeiro é solúvel em óleos e, o segundo, em água e, por conta disso, sua estrutura é chamada de anfifílica (HOLMBERG, 2007). Grupos lipofílicos ou hidrofóbicos, apresentam de 8 a 22 carbonos em uma cadeia alquila e possuem afinidade com substâncias apolares. Os hidrofílicos, por sua vez, interagem com substâncias polares. Sua classificação acontece de acordo com o valor de HLB (*Hydrophilic-Lipophilic Balance*, ou Balanço Hidrofílico-Lipofílico) que é avaliado de acordo com uma escala de 0 a 20, onde 0 indica caráter totalmente lipofílico e 20, totalmente hidrófilo (SALEM, 2010).

É possível definir um surfactante como aniônico, catiônico, não-iônico ou anfótero. Os aniônicos são a classe mais utilizada em todo o mundo, dada sua inúmeras aplicações, como sabões, detergentes, xampus e sabonetes. São caracterizados pela presença de uma carga iônica negativa e por conta disso, migram para o ânodo ou carga positiva presente na solução. Suas características físico-químicas são influenciadas pela presença de eletrólitos em solução e são pouco estáveis em meio ácido. Devido a neutralização de cargas, também não são compatíveis com tensoativos catiônicos (DALTIM, 2011).

Os catiônicos são quimicamente opostos aos aniônicos e apresentam carga iônica positiva, por conta disso, apresentam uma solubilidade em água reduzida. São pouco representados no mercado nacional devido às suas aplicações limitadas, desta forma, surfactantes catiônicos baseados em quaternário de amônio são os mais comercializados. Esta classe possui alta capacidade de aderir superfícies sólidas, mesmo após a remoção de sua solução e são muito utilizados como lubrificantes, amaciantes e anticorrosivos (HOLMBERG, 2007; DALVIN, 2011)

Os não-iônicos, por sua vez, são a segunda maior classe de tensoativos e são conhecidos por não terem carga verdadeira, por não serem originados de sais dissociados, não possuem grupo ionizável e nem carga elétrica. Os detergentes iônicos mais comuns são obtidos por meio da condensação de óxido de etileno (OE), que são fundamentais para a formação de regiões polares no surfactante. Quando colocado em um meio heterogêneo de fase água-óleo, ele se orienta de maneira que a porção hidrofílica entra em contato com a água e a lipofílica com óleo (HOLMBERG, 2007).

Por fim, os anfóteros são uma classe com um alto custo e por conta disso, são os menos utilizados. Podem apresentar um comportamento aniônico ou catiônico dependendo do pH da solução, pois apresentam tanto carga positiva, quanto negativa e por conta disso, são compatíveis com a maior parte dos tensoativos (DALVIN, 2011). Eles apresentam ótimas propriedades lubrificantes, anticorrosivas e umectantes, destarte, são empregados em processos de tingimento e lavagem (HOLMBERG, 2007).

2.7 ESTADO DA ARTE DO TINGIMENTO COM EMPREGO DE ÓLEO DE SOJA

A utilização de óleos nos processos de beneficiamento têxtil é um tópico que, aos poucos, está sendo desenvolvido. De acordo com Mu et al. (2009), seu emprego em tingimentos pode ser extremamente benéfico, uma vez que pode conferir a efetividade do processo, com concentrações de sal, corantes e auxiliares reduzidos, além de permitir a diminuição da quantidade de água no procedimento.

O reaproveitamento de óleo de soja convencional doméstico para substituição de água no beneficiamento secundário têm sido alvo de pesquisas graças à sua capacidade de reduzir os impactos gerados por descargas de efluentes com grandes concentrações de corantes hidrolisados e corantes de sais (LIU *et al.*, 2020). Ao avaliar a literatura, é perceptível que o número de estudos sobre óleo de soja na indústria têxtil ainda é pequeno quando comparado

aos outros métodos de tingimento, entretanto sua utilização é bastante promissora, como pode ser visto no Quadro 2.

Quadro 2 - Publicações sobre óleos.

TÍTULO	AUTORES	ANO	PAÍS
Processos de tingimento têxtil utilizando óleo de soja em um sistema micelar reverso	Letícia Fantinati Guimarães	2022	Brasil
Óleo de mamona sulfonado como opção renovável de igualizante e dispersante em tingimento de poliéster com corante disperso	Jully Schmidt Pinto Filippi	2021	Brasil
Chitosan-edible oil based materials as upgraded adsorbents for textile dyes	Clayane Carvalho dos Santos, Rodolpho Mouta, Manoel Carvalho Castro Junior, Sirlane Aparecida Abreu Santana, Hildo Antonio dos Santos Silva, Cícero Wellington Brito Bezerra	2018	Brasil
Soybean Oil-Based Biopolymers Induced by Nonthermal Plasma to Enhance the Dyeing of Para-Aramids with a Cationic Dye	Caleb Metzcar ,Xiaofei Philip Ye, Toni Wang, Christopher J. Doona	2022	Estados Unidos
Transport of textile dye in vegetable oils based supported liquid membrane	G. Muthuraman, K. Palanivelu	2006	Índia
Semistable Emulsion System Based on Spent Cooking Oil for PilotScale Reactive Dyeing with Minimal Discharges	Linyun Liu, Bingnan Mu, Wei Li, Yiqi Yang	2019b	China USA
High sorption of reactive dyes onto cotton controlled by chemical potential gradient for reduction of dyeing effluents.	Bingnan Mu, Linyun Liu, Wei Li, Yiqi Yang	2019	China USA
Clean cotton dyeing in circulated dyebath of waste cooking oil: A feasible	Linyun Liu, Bingnan Mu, Wei Li, Helan Xu, Jing Yang, Yiqi Yang	2020	China

industrialization strategy for pollution minimization			USA
Cost-effective reactive dyeing using spent cooking oil for minimal discharge of dyes and salts	Linyun Liu, Bingnan Mu, Wei Li, Yiqi Yang	2019a	China USA

Fonte: Autora (2023).

3 METODOLOGIA

Os ensaios laboratoriais deste trabalho foram realizados no Departamento de Engenharia Têxtil (DET) da UFSC Campus de Blumenau. No Laboratório de Beneficiamento (LABENE) foram realizados os processos de beneficiamento e no Laboratório Integrado Têxtil (LINTEX), as análises colorimétricas.

3.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Os ensaios realizados contaram com o emprego dos materiais descritos no Quadro 3.

Quadro 3 - Materiais utilizados.

Material	Função
Substrato de 100% de fibra de acrílico e com peso de 2g	Substrato a ser tingido
Corante Básico Red X-GRL 400%	Corante Catiônico
Corante Básico Amarelo X-GL 400%	Corante Catiônico
Corante Básico Azul X-GRL 300%	Corante Catiônico
Emulgador	Surfactante emulgador de óleo em água
RET-2049	Surfactante Retardante
TS-1012 Conce	Surfactante Dispersante
Cloreto de sódio	Sal
Detergente Industrial	Detergente
Ácido Fórmico	Ácido

Fonte: Autora (2023).

Os equipamentos utilizados para a realização dos ensaios estão descritos no Quadro 4.

Quadro 4 - Equipamentos utilizados.

Equipamento	Descrição	Fabricante
HT IR Dyer TC 2200	Empregado para tingir	Tex Control

	substratos por esgotamento	
Espectrofotômetro BEL UV M51	Empregado para indicar por absorvância as concentrações de soluções	BEL Photonics
Espectrofotômetro DC 500	Utilizado para determinar a cor dos substratos têxteis	Datacolor
Crockmeter CA-11	Utilizado para realização de testes de solidez à fricção	Kimak
Medidor de pH PHS-3E	Empregado na medição de pH dos banhos de tingimento	Satra
Balança analítica ATX	Utilizado na pesagem de auxiliares	Shimadzu
Estufa Luca-82/221	Utilizado para secagem das amostras	Lucadema

Fonte: Autora (2023).

3.2 TINGIMENTO

Com a finalidade de identificar a condição ideal de tingimento de fibras de acrílico com emprego de óleo de soja e a capacidade de reprodutibilidade com três diferentes cores de corantes catiônicos, foram realizados oito tingimentos distintos para cada um dos corantes por método de esgotamento em escala laboratorial. Nestes ensaios, a relação de banho utilizada foi de 1:20, o pH dos banhos foi mantido entre 4,0 e 4,5 com auxílio de ácido fórmico e no preparo das soluções foi utilizada água deionizada. Na Tabela 1 é possível observar a proporção de água e óleo de soja para cada um dos tingimentos.

De acordo com Mu et al. (2009), a presença do óleo de soja em tingimentos têxteis possui a capacidade de gerar resultados eficazes, além de permitir a redução de corantes, auxiliares e água. Desta forma, os parâmetros de tingimento convencionais foram mantidos nos processos não aquosos, alterando, apenas, a proporção de água e óleo de soja.

Tabela 1 - Quantidade de água e óleo nos tingimentos.

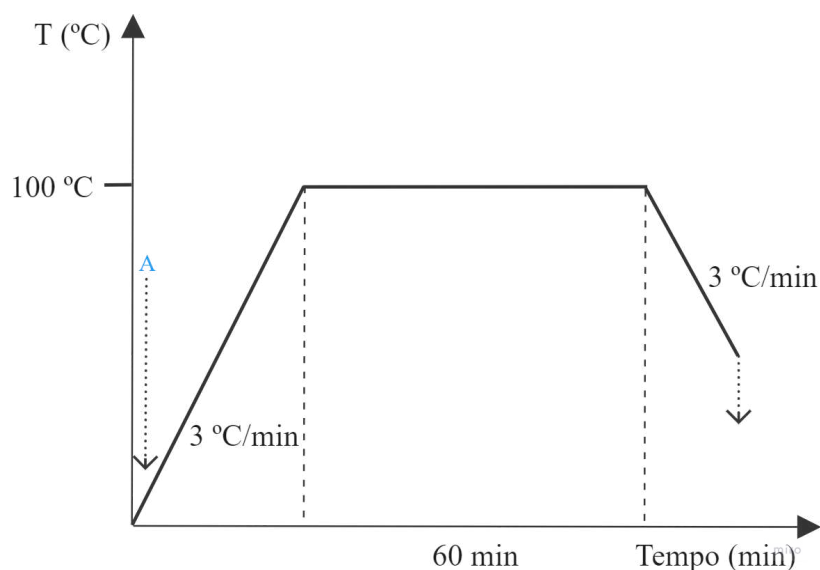
Tingimento	Água (mL)	Óleo (mL)
Convencional com cloreto de sódio	40	0

Convencional sem cloreto de sódio	40	0
50 óleo/50 água com cloreto de sódio	20	20
50 óleo/50 água sem cloreto de sódio	20	20
75 óleo/25 água com cloreto de sódio	10	30
75 óleo/25 água sem cloreto de sódio	10	30
100 óleo com cloreto de sódio	0	40

Fonte: Autora

Para a realização dos ensaios, foram utilizados três corantes catiônicos, na proporção de 2% sobre o peso das meadas para cada banho de tingimento. O tingimento foi efetuado no período de 60 minutos, sob a temperatura de 100°C. A concentração de sal (NaCl) foi de 10 g.L⁻¹, de dispersante 1 g.L⁻¹ e, para o retardante, houve variação de acordo com o corante, sendo o do vermelho, amarelo e azul, respectivamente, 1,54%, 1,56% e 1,72%. A quantidade de emulgador empregada foi calculada em 5% sobre o peso do substrato. É possível observar as condições do tingimento por meio do gráfico na Figura 8.

Figura 8 - Processo de tingimento



Etapa de dosagem	Tingimento	Auxiliar	Concentração
A	Tingimento convencional com cloreto de sódio	Corante	0,5% s.p.m
		Sal	10 g.L ⁻¹
		Dispersante	1 g.L ⁻¹
		Retardante	1,54% (Vermelho)
			1,56% (Amarelo)
		1,72% (Azul)	
A	Tingimento convencional sem cloreto de sódio	Corante	0,5% s.p.m
		Dispersante	1 g.L ⁻¹
		Retardante	1,54% (Vermelho)
			1,56% (Amarelo)
A	Tingimento com óleo com cloreto de sódio	Corante	0,5% s.p.m
		Emulgador	5% s.p.m
		Sal	10 g.L ⁻¹
		Dispersante	1 g.L ⁻¹
		Retardante	1,54% (Vermelho)
			1,56% (Amarelo)
		1,72% (Azul)	
A	Tingimento com óleo sem cloreto de sódio	Corante	0,5% s.p.m
		Emulgador	5% s.p.m
		Dispersante	1 g.L ⁻¹
		Retardante	1,54% (Vermelho)
			1,56% (Amarelo)
A	Tingimento 100% óleo de soja com cloreto de sódio	Corante	0,5% s.p.m
		Sal	10 g.L ⁻¹
		Dispersante	1 g.L ⁻¹
		Retardante	1,54% (Vermelho)
			1,56% (Amarelo)

Fonte: Autora (2023).

Após o término do processo de tingimento, as amostras foram submetidas a quatro lavagens consecutivas. Foram realizados quatro enxagues manuais apenas com água deionizada à temperatura de 70°C e um deles contou com a adição de 2 g.L⁻¹ de detergente

industrial. Posteriormente à lavagem das amostras, elas foram secadas em uma estufa na temperatura de 40°C.

3.2.2 Redução de sal

Os tingimentos com emprego dos corantes Red GRL-400%, Yellow GL-400% e Blue GRL-300% com proporção de 75% óleo e 25% água sem sal foram definidos como resultados mais satisfatórios, através de uma avaliação colorística realizada em um espectrofotômetro de reflectância, levando em consideração parâmetros como intensidade colorística, força e desvio de cor. Por meio deles foi possível analisar os efeitos da redução de sal, nos processos que contaram com a utilização de concentrações de 10 g.L⁻¹ e 0.0 g.L⁻¹ de cloreto de sódio, entretanto, os demais parâmetros permaneceram inalterados.

3.3 ANÁLISES COLORIMÉTRICAS

Foram realizadas análises de cor nas amostras por meio de um espectrofotômetro de reflectância Datacolor® Spectrum 500, utilizando especular excluída, abertura pequena de 9 mm, iluminante D65, ângulo do observador de 10° e sem filtro 100% UV.

As meadas tingidas foram penteadas para manter o alinhamento das fibras para a análise e, desta forma, foi possível obter o valor da força colorística (K/S) e a diferença de cor em comparação com as fibras tingidas por métodos convencionais.

3.4 AVALIAÇÃO DE MANCHAMENTO

A análise de manchas de um substrato é um fator crucial para determinar a uniformidade da cor em sua superfície, assim como a qualidade do tingimento. Com esse propósito, as amostras provenientes dos processos convencionais e de tingimentos com óleo foram submetidas a avaliações em um espectrofotômetro de reflectância Datacolor® Spectrum 500. Para conduzir a avaliação dessas amostras, foram selecionados quatro pontos distintos ao longo de seus comprimentos. O primeiro foi estabelecido como referência enquanto os pontos subsequentes foram comparados ao ponto principal para identificar desvios de cor. O estudo se deu por meio dos valores de ΔE obtidos.

3.5 AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE SOLIDEZ DA COR

Os ensaios de solidez da cor são fundamentais para avaliar a capacidade dos corantes ou pigmentos de resistirem a ações degradantes durante o ciclo de vida de um substrato têxtil. Neste estudo foi analisada a resistividade dos tingimentos com corantes catiônicos distintos à ensaios de solidez à fricção e à lavagem.

3.5.1 Solidez à fricção

O procedimento de solidez à fricção à seco e à úmido foram realizados com base na norma ABNT NBR ISO 105 X12: Solidez da cor à fricção. O procedimento foi realizado em um crockmeter CA-11, produzido pela empresa Kimak, com 20 ciclos de fricção e velocidade de um ciclo por segundo, empregando tecidos-testemunha de algodão.

A fim de analisar a migração de cor das amostras tingidas para as testemunhas, foi realizada uma avaliação de escala de cinza.

3.5.2 Solidez à lavagem

O ensaio de solidez à lavagem foi executado e adaptado e fundamentado na norma ABNT NBR ISO 105 C06: Solidez da cor à lavagem doméstica e comercial. As amostras tingidas foram costuradas, individualmente, entre dois tecidos testemunha 100% fibra de acrílico.

Este teste se deu em uma máquina de tingimento HT IR Dyer TC 2200, mantendo as amostras imersas em um banho por 30 minutos à temperatura de 40°C. Foi adicionada uma solução de 150 mL de água com detergente comercial em pó na concentração de 4 g.L⁻¹ e 10 esferas de aço para auxiliar no atrito e circulação do banho.

Posteriormente, as amostras foram enxaguadas e secadas em uma estufa a 60°C. Na sequência, a alteração da sua cor e a migração para tecidos-testemunha foram avaliadas em escala de branco e escala de cinza.

3.5.3 Solidez à luz

O ensaio de solidez à luz se deu no Laboratório de Ensaio Físicos e Químicos Têxteis (LAFITE) do SENAI de Brusque (SC). Ele foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR

ISO 105-B02 - Solidez da cor à luz artificial: Ensaio da lâmpada de desbotamento de arco de xenônio. Este teste foi realizado por meio da exposição luminosa dos substratos em um equipamento Xenotest® 150 S por 20 horas. A solidez da cor foi avaliada por meio da comparação entre amostras expostas e não expostas à luz de xenônio, com auxílio de um espectrofotômetro de reflectância Datacolor® Spectrum 500.

3.6 DETERMINAÇÃO DA CINÉTICA DE TINGIMENTO

O estudo de cinética de adsorção foi conduzido com base nos banhos de tingimentos convencionais com sal dos corantes Red GRL-400%, Yellow GL-400% e Blue GRL-300%. Teve-se como finalidade compreender o mecanismo de transferência de corante do banho para as fibras de acrílico. Aliquotas de 3 mL foram coletadas dos tingimentos convencionais com cloreto de sódio antes do processo à 25°C e, subsequentemente, a cada 10, 20 e 40 minutos após o início da operação, ao final e após o banho ter sido resfriado.

Para avaliação da ação dos auxiliares nos processos de tingimento, foram realizados dois ensaios; o primeiro deles contendo água e corante e, o segundo, água, corante e dispersante. Entretanto, este procedimento foi realizado apenas para o corante vermelho, tendo em vista a semelhança de comportamento aos demais. Desta maneira, foi possível realizar uma comparação entre os processos com e sem sal e com e sem dispersante, medindo as concentrações de material colorante no banho nos tempos 0, 19, 32, 52 e 86 minutos.

A concentração de corante nas alíquotas coletadas foi determinada por meio de uma avaliação com um espectrofotômetro de absorvância UV/Vis. Os dados obtidos foram ajustados a modelos de pseudo-primeira e pseudo-segunda ordem, permitindo a construção de um gráfico que relaciona o tempo com a concentração de corante presente no banho.

3.7 DETERMINAÇÃO DAS ISOTERMAS DE ADSORÇÃO

Além do estudo realizado a respeito da cinética de tingimento, procurou-se avaliar o mecanismo de adsorção do corante ao substrato têxtil, por meio das isotermas de adsorção. Com o objetivo de identificar o modelo mais apropriado para o processo de tingimento de fibras de acrílico com emprego de óleo de soja e corantes catiônicos, foram definidas quatro concentrações distintas de corante: 0,1%, 0,2%, 0,3% e 0,7% em relação à massa do substrato têxtil empregado. O tingimento ocorreu com base nas condições mais satisfatórias identificadas previamente.

Este mesmo processo foi repetido para tingimentos contendo apenas água e corante, a fim de compreender a ação dos auxiliares no beneficiamento secundário das fibras de acrílico.



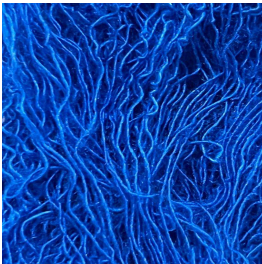
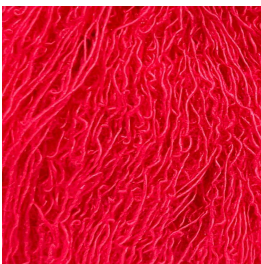
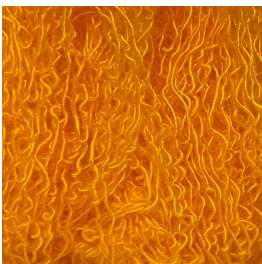
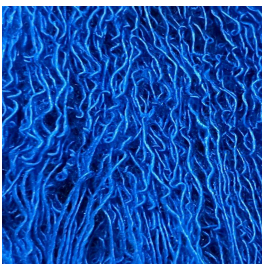
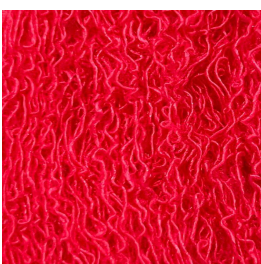
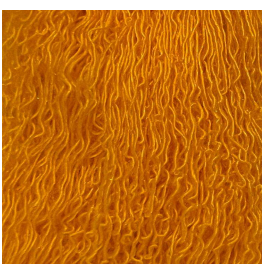
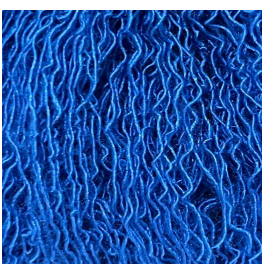
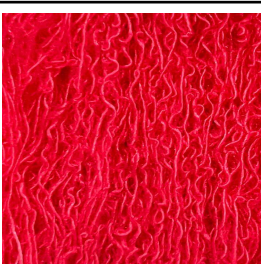
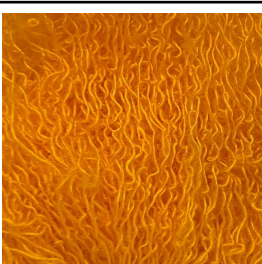
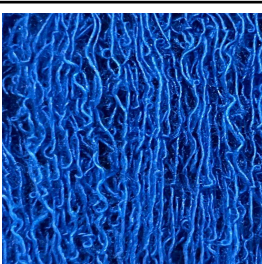
Foram coletadas alíquotas de 3 mL no início e ao final dos procedimentos, que, posteriormente, foram analisadas por espectrofotometria UV/Vis. A concentração de corante presente em cada um dos banhos foi determinada por meio da curva de calibração correspondente. Com base nos dados obtidos, procedeu-se à avaliação de isothermas, utilizando os modelos de Freundlich e Langmuir como base para a análise.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 TINGIMENTO

Os tingimentos foram realizados em meadas de fio de acrílico, empregando Corante Básico Red X-GRL 400%, Corante Básico Yellow X-GL 400% e Corante Básico Blue X-GRL 300% com concentrações de 2% s.p.m. É possível observar as amostras no Quadro 5.

Quadro 5 - Meadas de fibra de acrílico após tingimentos.







Amostra	Corante Básico Red X-GRL 400%	Corante Básico Yellow X-GL 400%	Corante Básico Blue X-GRL 300%
Convencional com cloreto de sódio			
Convencional sem cloreto de sódio			
50 óleo/50 água com cloreto de sódio			
50 óleo/50 água sem cloreto de sódio			




Fonte: Autora (2023).

Após seu tingimento, as amostras foram submetidas a análises de cor no espectrofotômetro Datacolor 500® e as informações obtidas foram inseridas nas Tabelas 2, 3 e 4 de acordo com o corante utilizado em cada teste.

Tabela 2 - Coordenadas colorimétricas dos tingimentos com corante básico vermelho.








Amostra	K/S	Força	ΔE	Cor
Convencional com cloreto de sódio	172,954			
Convencional sem cloreto de sódio	198,261	98,37	1,58	
50 óleo/50 água com cloreto de sódio	175,455	115,08	3,89	
50 óleo/50 água sem cloreto de sódio	198,159	105,65	2,38	
75 óleo/25 água com cloreto de sódio	213,494	118,45	3,27	
75 óleo/25 água sem cloreto de sódio	225,603	105,58	3,83	

100 óleo com cloreto de sódio	272,785	141,93	6,33	
-------------------------------	---------	--------	------	---

Fonte: Autora (2023).

A análise dos dados revela que os tingimentos sem sal demonstraram uma intensidade superior aos demais. Este fenômeno pode ser atribuído a um possível excesso de sal, que em alguns casos, pode reduzir a solubilidade do corante em água, além de gerar precipitações. Este fato pode ser confirmado pelo baixo esgotamento do tingimento convencional com sal exposto na Tabela 7. Os valores correspondentes aos métodos sem sal convencional, 50% óleo e 50% água, 75% óleo e 25% água são, respectivamente, 198,261, 198,159, 225,603, enquanto os que contaram com emprego de sal resultaram em 172,954, 175,455, 213,494. Destaca-se que a maior intensidade de cor apresentada foi observada no método que utiliza 100% de óleo com sal, com K/S de 272,785; entretanto, é importante mencionar que este também apresentou um alto desvio de cor, com valor de ΔE de 6,33, sugerindo maior concentração de corante na superfície externa da fibra.

Tabela 3 - Coordenadas colorimétricas dos tingimentos com corante básico amarelo.

Amostra	K/S	Força	ΔE	Cor
Convencional com cloreto de sódio	167,394			
Convencional sem cloreto de sódio	196,654	87,59	3,27	
50 óleo/50 água com cloreto de sódio	222,232	101,98	2,77	
50 óleo/50 água sem cloreto de sódio	218,021	98,33	2,71	
75 óleo/25 água com cloreto de sódio	219,105	96,15	4,69	
75 óleo/25 água sem cloreto de sódio	219,109	105,35	2,97	
100 óleo com cloreto de sódio	134,744	53,27	12,43	

Fonte: Autora (2023).

Com base nos dados analisados, é possível observar que os processos de tingimento com corante básico Yellow X-GL 400% com e sem sal apresentaram baixa variação entre seus

valores de intensidade colorística. É evidente que a presença do óleo garantiu melhores valores de K/S do que os de tingimentos exclusivamente aquosos. Contudo, é importante destacar que o tingimento 100% óleo de soja apresentou intensidade colorística inferior, com K/S de 134,744, tendo em vista que o tingimento padrão apresentou 167,394. Tal fenômeno pode ser atribuído à ausência de água no processo, componente crucial para eficácia dos processos de migração, adsorção e difusão no corante da fibra.

Tabela 4 - Coordenadas colorimétricas dos tingimentos com corante básico azul.

Amostra	K/S	Força	ΔE	Cor
Convencional com cloreto de sódio	213,778			
Convencional sem cloreto de sódio	179,579	86,18	2,53	
50 óleo/50 água com cloreto de sódio	193,862	99,19	2,65	
50 óleo/50 água sem cloreto de sódio	207,332	110,38	1,70	
75 óleo/25 água com cloreto de sódio	174,651	88,73	2,56	
75 óleo/25 água sem cloreto de sódio	176,894	83,21	3,09	
100 óleo com cloreto de sódio	21,576	12,53	35,23	

Fonte: Autora (2023).

Os tingimentos que incorporaram o corante básico Blue X-GRL 300%, revelaram baixa intensidade colorística em comparação ao método tradicional, cujo K/S foi de 213,778. Entretanto, é notório que os tingimentos com óleo de soja e sem cloreto de sódio apresentaram uma vantagem em relação aos métodos que o empregaram. No procedimento com 100% de óleo, semelhante ao observado com corantes vermelho e amarelo, o seu desvio cromático foi significativamente maior do que os demais, atingindo um ΔE de 35,23. A intensidade colorística foi de 21,576 indicando uma interação reduzida entre corante e fibra, devido à ausência de água no processo.

De maneira geral, os tingimentos com óleo de soja sem sal apresentaram resultados que atenderam às expectativas estabelecidas. Ao examinar os resultados obtidos, é possível inferir que o tingimento com proporção de 75% óleo de soja e 25% de água sem cloreto de

sódio alcançou, para os três corantes, resultados satisfatórios e próximos do ideal. Além de sua eficácia, este método contribuiu para a redução de água e sal no beneficiamento de fibras acrílicas.

4.1.2 Esgotamento

O esgotamento dos banhos residuais, presente na Tabela 5, foi calculado por meio dos valores de concentração inicial e final do tingimento convencional com cloreto de sódio, determinado através das concentrações iniciais e finais dos banhos, dados estes obtidos por meio de leituras em espectrofotômetro de absorvância UV/Vis, para os corantes básicos Red X-GRL 400%, Red X-GRL 400% e Blue X-GRL 300%.

Tabela 5 - Percentual de esgotamento do corante no banho após o tingimento.

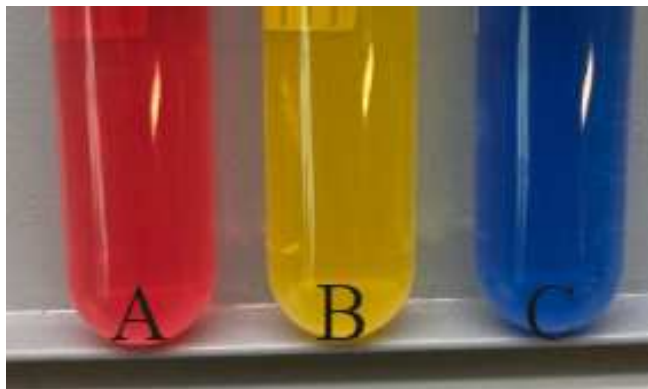
Corante	Tingimento	Esgotamento (%)
Corante Básico Red X-GRL 400%	Convencional com cloreto de sódio	53,82
Corante Básico Yellow X-GL 400%	Convencional com cloreto de sódio	48,66
Corante Básico Blue X-GRL 300%	Convencional com cloreto de sódio	71,87

Fonte: Autora (2023).

Percebe-se pelos valores de esgotamento que a concentração de corante final manteve-se consideravelmente alta para os três corantes estudados. Este resultado pode ter sido influenciado pela presença do sal ou ainda é uma possível adversidade na máquina de tingimento, onde há a necessidade de aferição de sua temperatura.

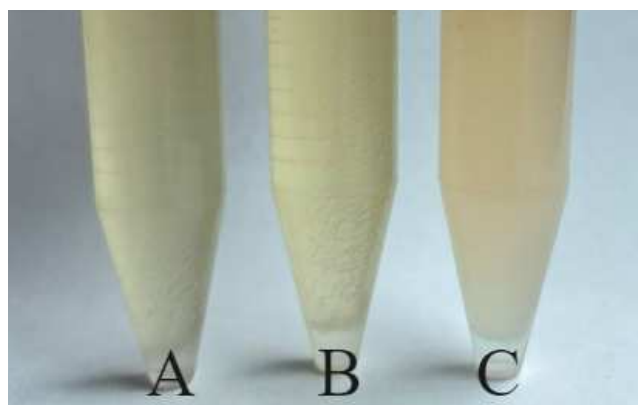
Os processos com 75% óleo e 25% água sem sal não puderam ser analisados por este método, uma vez que não é possível realizar medições em emulsões de óleo de soja e água, uma vez que a presença de micropartículas de óleo tornam o banho instável. Entretanto, é possível realizar uma avaliação visual das figuras 9 e 10 para comparação entre ambos os métodos. O banho A indica o emprego do corante básico Red GRL-400%; B, de Yellow GL-400% e C, de Blue GRL-300%.

Figura 9 - Banhos residuais de tingimento convencional com sal.



Fonte: Autora (2023).

Figura 10 - Banhos residuais de tingimento 75% óleo e 25% água sem sal.



Fonte: Autora (2023).

Os banhos residuais de tingimento convencional com sal de corantes básicos, visível na Figura 9, apresentou forte coloração, indicando uma grande concentração de corante no meio. Este fato é confirmado através dos valores de esgotamento obtidos por meio de análises em espectrofotômetros de absorvância. A Figura 10 expõe os resultados do tingimento 75% óleo e 25% água sem sal, em que é possível concluir visualmente que esgotou de maneira superior ao caso anterior. Nesta imagem, é possível perceber a emulsão de água e óleo, entretanto, a presença de corante é mínima, indicando que o material colorante foi quase que por completo para as fibras de acrílico.

Uma vez que o tingimento convencional com sal apresentou um baixo esgotamento, indicando elevada presença de corante no meio, foram realizadas novas análises a fim de identificar a influência dos auxiliares no processo. Os corantes apresentaram comportamentos semelhantes e, por conta disso, os testes foram realizados para apenas um deles, o Red GRL-400%. No primeiro procedimento, foi adicionado água, corante e dispersante e, no

segundo, apenas água e corante. Na Tabela 6 é possível observar o esgotamento obtido em cada um deles.

Tabela 6 - Percentual de esgotamento do corante no banho após o tingimento, para avaliação dos auxiliares.

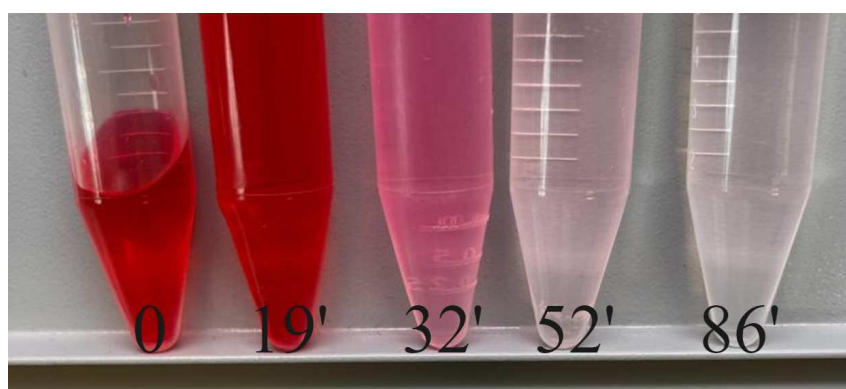
Corante	Tingimento	Esgotamento (%)
Corante Básico Red X-GRL 400%	Água e corante	99,35%
	Água, corante e dispersante	99,13%

Fonte: Autora (2023).

É evidente que a ausência de sal em ambos fez com que os processos alcançassem quase 100% de esgotamento, mas nos casos em que foi empregado, o esgotamento reduziu consideravelmente. Infere-se, a partir disso, que o cloreto de sódio possui uma alta interferência no processo de beneficiamento de fibras de acrílico, uma vez que pode assumir o papel de retardante, ao adentrar a fibra, gerando um impedimento à entrada de corante. Este comportamento resulta em uma maior concentração de colorante no banho residual.

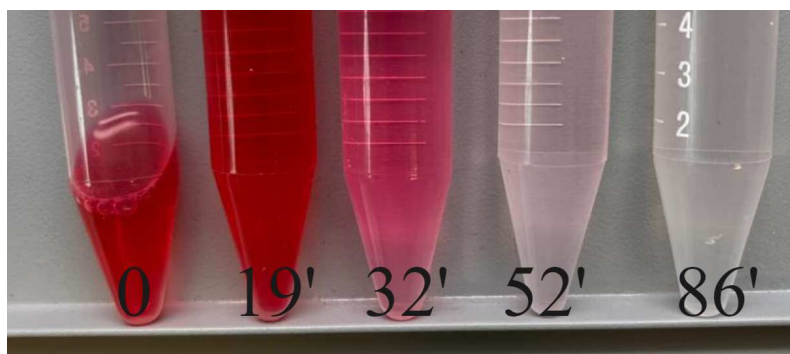
Pode-se realizar uma avaliação visual, a partir das figuras 11 e 12, das alíquotas de teste de cinética nos tempos 0, 19, 32, 52 e 86.

Figura 11 - Banhos residuais para avaliação de cinética do processo com água e corante.



Fonte: Autora (2023).

Figura 12 - Banhos residuais para avaliação de cinética do processo com água, corante e dispersante.



Fonte: Autora (2023).

Percebe-se que a presença de dispersante não interfere de maneira significativa no esgotamento, uma vez que os processos com e sem sua adição, resultaram em valores e aparência muito semelhantes.

4.1.3 Avaliação de manchamento

A seleção das amostras com melhores resultados levou em consideração importantes parâmetros colorísticos e o método convencional de tingimento. Os substratos escolhidos foram submetidos a avaliação de manchas, onde foram obtidos diferentes valores de ΔE que indicam o desvio de cor. É possível analisar os resultados obtidos nas tabelas 7, 8 e 9.

Tabela 7 - ΔE das amostras tingidas com corante vermelho.

Convencional com cloreto de sódio	Convencional sem cloreto de sódio	50 óleo/ 50 água com cloreto de sódio	50 óleo/ 50 água sem cloreto de sódio	75 óleo/ 25 água com cloreto de sódio	75 óleo/ 25 água sem cloreto de sódio	100 óleo com cloreto de sódio
0,73	0,29	1,38	2,11	1,69	0,94	2,26
1,14	0,99	1,06	1,27	1,32	0,32	1,65
1,19	0,80	1,28	1,95	0,99	0,80	2,94

Fonte: Autora (2023).

A avaliação do manchamento é conduzida mediante os valores de ΔE , sendo compreendido que quanto maior eles forem, maior o número de manchas no substrato. Nota-se que, para os tingimentos com corante básico Red X-GRL 400%, as amostras, em geral, manifestaram valores reduzidos de desvio de cor, à exceção dos métodos 50% óleo e 50% água sem sal e 100% óleo com sal, os quais apresentaram valores máximos, respectivamente, de 2,11 e 2,94 e mínimos de 1,27 e 1,65. Estes resultados indicam irregularidades superiores às demais fibras.

No que tange aos métodos não aquosos, observa-se que a maior proximidade ao convencional com sal foi aquele que empregou 75% óleo de soja e 25% sem sal, exibindo desvios pequenos de 0,94, 1,32 e 0,99, que sugerem maior igualização de cor.

Tabela 8 - Desvio de cor das amostras tingidas com corante amarelo.

Convencional com cloreto de sódio	Convencional sem cloreto de sódio	50 óleo/ 50 água com cloreto de sódio	50 óleo/ 50 água sem cloreto de sódio	75 óleo/ 25 água com cloreto de sódio	75 óleo/ 25 água sem cloreto de sódio	100 óleo com cloreto de sódio
0,38	1,58	1,40	0,67	0,78	0,14	1,50
0,97	1,03	0,68	0,49	0,97	0,77	2,72
0,84	1,19	1,40	1,39	1,13	0,90	2,53

Fonte: Autora (2023).

As amostras provenientes de processos que empregaram Yellow X-GL 400% exibiram desvios de cor mínimos, indicativo de baixa quantidade de manchas. Contudo, o tingimento utilizando 100% óleo com sal apresentou uma variação de 1,50, 2,72 e 2,53 nos valores de ΔE , evidenciando uma uniformidade inferior aos demais. Tal discrepância pode ser atribuída a possíveis adversidades no processo de beneficiamento.

Destaca-se que o procedimento com resultados mais satisfatórios foi aquele que adotou uma proporção de 75% de óleo, 25% de água sem cloreto de sódio. Neste caso, os valores de ΔE foram de 0,14, 0,77 e 0,90, indicando homogeneidade ao longo do comprimento da meada.

Tabela 9 - Desvio de cor das amostras tingidas com corante azul.

Convencional	Convencional	50 óleo/	50 óleo/	75 óleo/	75 óleo/	100 óleo
--------------	--------------	----------	----------	----------	----------	----------

com cloreto de sódio	sem cloreto de sódio	50 água com cloreto de sódio	50 água sem cloreto de sódio	25 água com cloreto de sódio	25 água sem cloreto de sódio	com cloreto de sódio
1,04	0,44	0,63	1,05	0,98	0,54	3,55
0,19	0,69	0,72	0,39	1,06	0,27	1,14
0,75	0,92	0,22	1,43	1,00	0,64	3,14

Fonte: Autora (2023).

A amostras tingidas com corante básico Blue X-GRL 300%, resultaram em baixos desvios de cor, indicando uma ocorrência reduzida de manchas. No entanto, o método 100% óleo com sal apresentou uma variação de 3,55, 3,14 e 1,14, sugerindo um elevado número de manchas no substrato. Os métodos 50% óleo e 50% água com sal e 75% óleo e 25% água sem sal apresentaram maior igualização, praticamente livre de manchas, com desvios de 0,63, 0,72, 0,22 e 0,54, 0,27, 0,64, respectivamente.

4.2 SOLIDEZ DA COR

4.2.1 Solidez à fricção

Inicialmente, foram realizados os testes de solidez à fricção à seco, utilizando as amostras com tingimento convencional e com 75% óleo e 25% água sem sal. É possível avaliar as notas obtidas por meio da Tabela 10.

Tabela 10 - Notas de solidez à fricção à seco.

Corante	Tingimento	Nota
Corante Básico Red X-GRL 400%	Convencional com cloreto de sódio	5
	75 óleo/ 25 água sem cloreto de sódio	5
Corante Básico Yellow X-GL 400%	Convencional com cloreto de sódio	5
	75 óleo/ 25 água sem cloreto de sódio	5

Corante Básico Blue X-GRL 300%	Convencional com cloreto de sódio	5
	75 óleo/ 25 água sem cloreto de sódio	5

Fonte: Autora (2023).

Na sequência foram realizados testes de solidez à fricção à úmido, utilizando tecidos-testemunhas previamente molhados. Após os procedimentos, os tecidos-testemunhas foram avaliados em uma escala de cinza para avaliar a migração de corante das meadas para os mesmos. Na Tabela 11, é possível observar as notas de cada um deles.

Tabela 11 - Notas de solidez à fricção à úmido.

Corante	Tingimento	Nota
Corante Básico Red X-GRL 400%	Convencional com cloreto de sódio	5
	75 óleo/ 25 água sem cloreto de sódio	5
Corante Básico Yellow X-GL 400%	Convencional com cloreto de sódio	5
	75 óleo/ 25 água sem cloreto de sódio	5
Corante Básico Blue X-GRL 300%	Convencional com cloreto de sódio	5
	75 óleo/ 25 água sem cloreto de sódio	5

Fonte: Autora (2023).

Observa-se que todas as meadas receberam nota 5 na solidez à fricção à úmido. Nos tingimentos avaliados que não houve transferência da cor no caso dos três corantes utilizados. Este fato confirma que o tingimento não aquoso pode apresentar propriedades de resistência da cor iguais ou superiores aos exclusivamente aquosos.

No geral, os testes de solidez à fricção mostraram que os procedimentos com quantidade de água e sal reduzidos apresentam propriedades semelhantes aos convencionais,

tanto para o corante básico Red X-GRL 400%, quanto para o Yellow X-GL 400% e Blue X-GRL 300%.

4.2.2 Solidez à lavagem

Após o teste de solidez à lavagem, as amostras foram submetidas à uma avaliação da escala de cinza. Os resultados obtidos mostraram-se excelentes, uma vez que indicaram que não houve alteração significativa de cor das amostras testemunhas, sugerindo que não houve migração de corante das amostras tingidas com cada um dos corantes para elas, conforme a Tabela 12.

Tabela 12 - Notas de solidez à lavagem da escala de cinza.

Corante	Tingimento	Nota
Corante Básico Red X-GRL 400%	Convencional com cloreto de sódio	5
	75 óleo/ 25 água sem cloreto de sódio	5
Corante Básico Yellow X-GL 400%	Convencional com cloreto de sódio	5
	75 óleo/ 25 água sem cloreto de sódio	5
Corante Básico Blue X-GRL 300%	Convencional com cloreto de sódio	5
	75 óleo/ 25 água sem cloreto de sódio	5

Fonte: Autora (2023).

O bom desempenho das amostras tingidas com banho de 75% óleo de soja e 25% de água sem cloreto de sódio mostra eficácia da resistência à lavagem não foi alterada em comparação ao método convencional. Como sugere Mu *et al.* (2019), o tingimento de alguns substratos pode ocorrer com o emprego de óleo de soja e com redução de auxiliares, gerando produtos finais com ótimas propriedades.

Na Tabela 13 é possível observar as notas de cada amostra na análise de alteração da cor após o procedimento de solidez à lavagem. Infere-se que também não houve alteração

para nenhum dos corantes utilizados e, portanto, mantiveram-se com a mesma aparência após esta etapa.

Tabela 13 - Notas de solidez à lavagem da escala de branco.

Corante	Tingimento	Nota
Corante Básico Red X-GRL 400%	Convencional com cloreto de sódio	5
	75 óleo/ 25 água sem cloreto de sódio	5
Corante Básico Yellow X-GL 400%	Convencional com cloreto de sódio	5
	75 óleo/ 25 água sem cloreto de sódio	5
Corante Básico Blue X-GRL 300%	Convencional com cloreto de sódio	5
	75 óleo/ 25 água sem cloreto de sódio	5

Fonte: Autora (2023).

4.2.3 Solidez à luz

Para avaliar a solidez à luz das amostras convencionais e das tingidas com proporção 75% óleo e 25% água sem cloreto de sódio, foi necessário submetê-las a uma exposição de 20 horas à lâmpada de xenônio de 1,2 Watts/m².

Para identificar a resistência do tingimento à este processo, as meadas foram submetidas à uma análise no espectrofotômetro de reflectância Datacolor® Spectrum 500, para obtenção dos valores de ΔE que indicam o desvio de cor das amostras após o procedimento, em comparação com a cor de antes. É possível observar os dados na Tabela 14.

Tabela 14 - Desvio de cor após teste de solidez à luz.

Corante	Tingimento	ΔE
Corante Básico Red X-GRL 400%	Convencional com cloreto de sódio	1,70

	75 óleo/ 25 água sem cloreto de sódio	1,00
Corante Básico Yellow X-GL 400%	Convencional com cloreto de sódio	1,28
	75 óleo/ 25 água sem cloreto de sódio	2,24
Corante Básico Blue X-GRL 300%	Convencional com cloreto de sódio	1,67
	75 óleo/ 25 água sem cloreto de sódio	1,17

Fonte: Autora (2023).

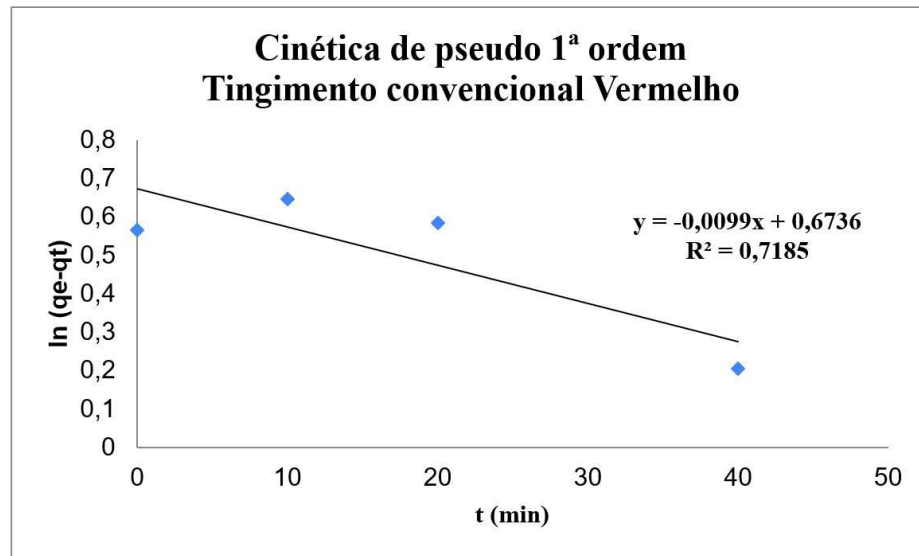
Observa-se que os tingimentos convencional e de 75% óleo 25% água sem sal apresentaram baixo desvio de cor após o teste de solidez à luz. A avaliação apontou que para os corantes básicos Red X-GRL 400%, Yellow X-GL 400% e Blue X-GRL 300% o primeiro método resultou em valores de ΔE de 1,70, 1,28 e 1,67, respectivamente. O segundo mostrou uma ligeira melhora para o primeiro e o terceiro corante, de 1,00 e 1,17, entretanto, o segundo apresentou um desvio de 2,24 que sugere uma falha de homogeneização do tingimento, devido ao posicionamento da meada durante o processo. No geral, percebe-se que os dois procedimentos possuem uma boa solidez à luz, em especial o tingimento não aquoso que garantiu melhor conservação da cor do substrato.

4.4 CINÉTICA DE TINGIMENTO

A cinética de tingimento foi avaliada apenas para o método convencional com sal, sendo este o padrão para realização dos demais e com resultado mais próximo aos do procedimento 75% de óleo e 25% de água sem sal.

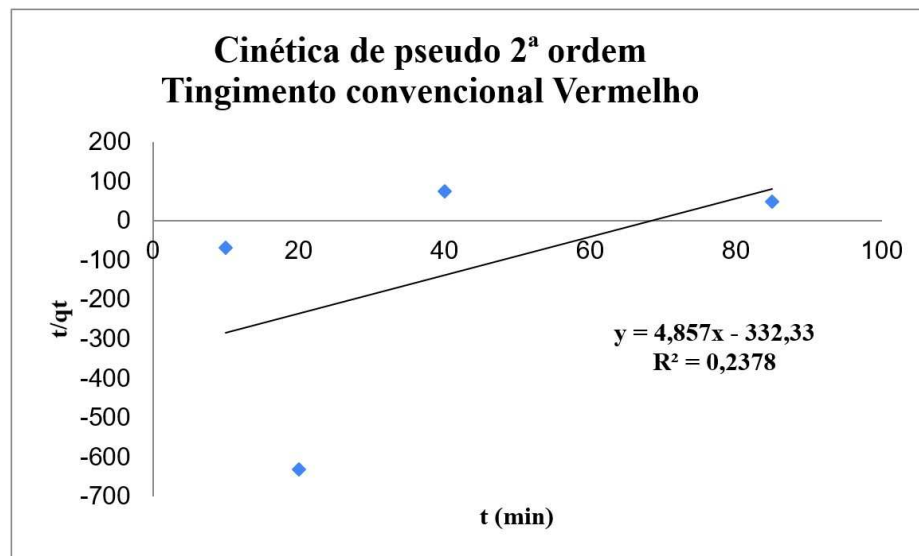
O comportamento cinético de adsorção do corante pelas fibras de acrílico foi estudado através dos modelos de pseudo-primeira e pseudo-segunda ordem referentes às equações 4 e 7, com propósito de compreender os mecanismos de adsorção e os parâmetros intrinsecamente ligados ao processo, através da capacidade de adsorção de uma fase sólida no tingimento. Suas formas linearizadas podem ser observadas nas figuras 13 e 14 para o corante Red GRL-400%; 15 e 16 para o Yellow GL-400% e, 17 e 18, para Blue GRL-300%.

Figura 13 - Cinética de pseudo-primeira ordem para corante Red X-GRL 400%.



Fonte: Autora (2023).

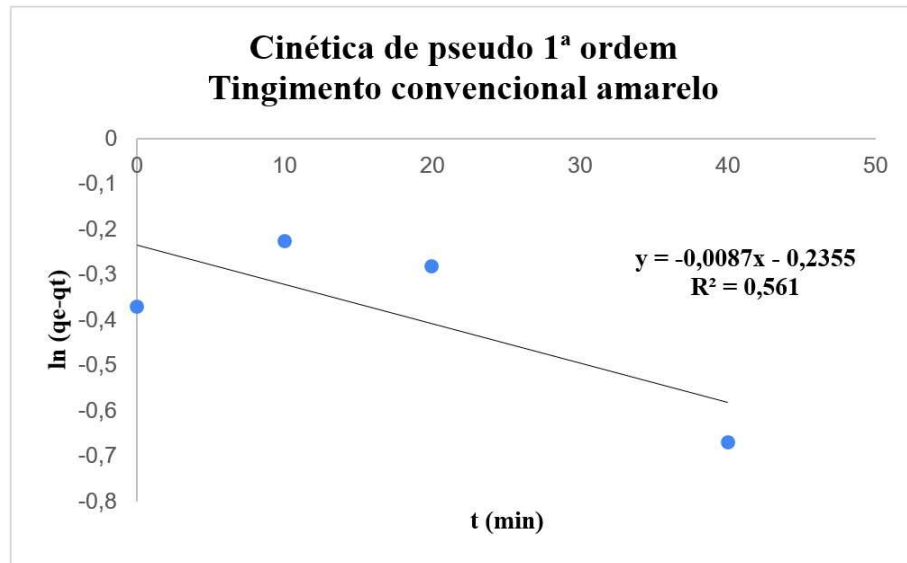
Figura 14 - Cinética de pseudo-segunda ordem para corante Red X-GRL 400%.



Fonte: Autora (2023).

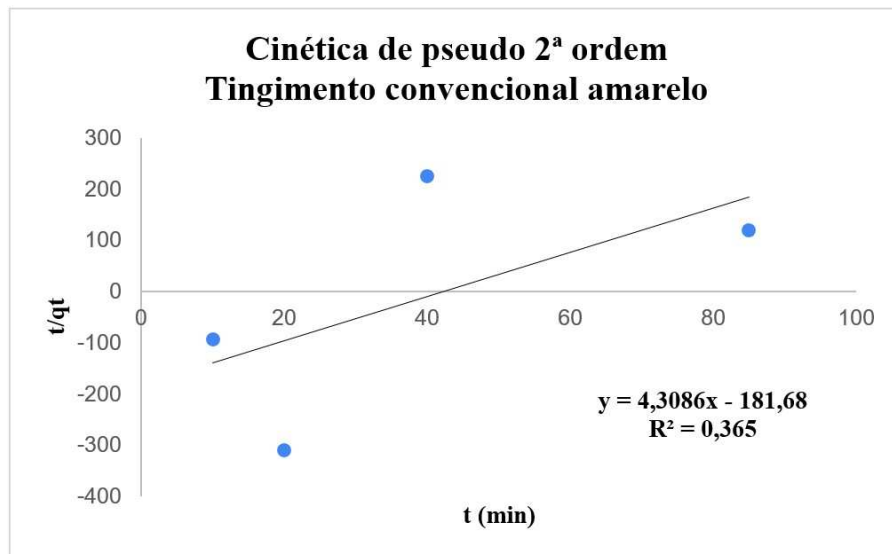
Para o corante vermelho, os dois modelos cinéticos não apresentaram completa adequação, embora o modelo em que o tingimento melhor se ajustou foi o de pseudo-primeira ordem, com coeficiente de correlação, $R^2 = 0,7185$, o outro não conseguiu traduzir o processo de maneira ideal, resultando em um R^2 igual a 0,2378.

Figura 15 - Cinética de pseudo-primeira ordem para corante Yellow X-GL 400%.



Fonte: Autora (2023).

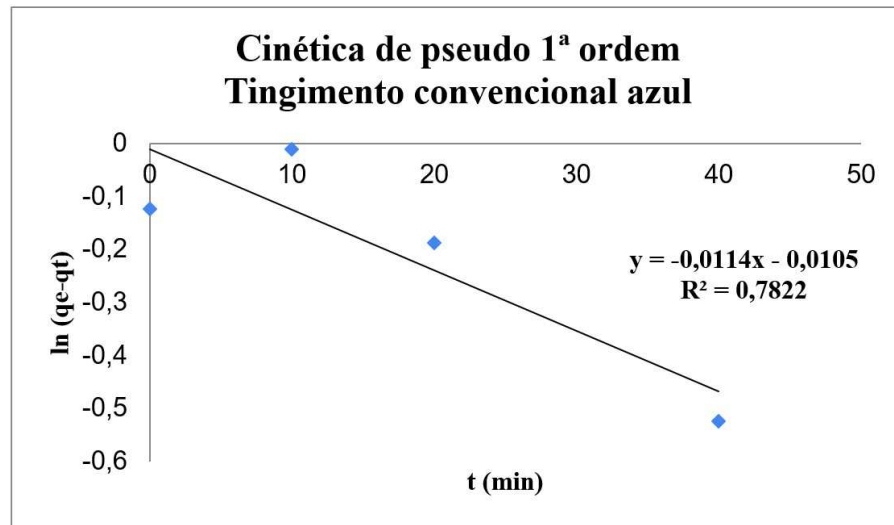
Figura 16 - Cinética de pseudo-segunda ordem para corante Yellow X-GL 400%.



Fonte: Autora (2023).

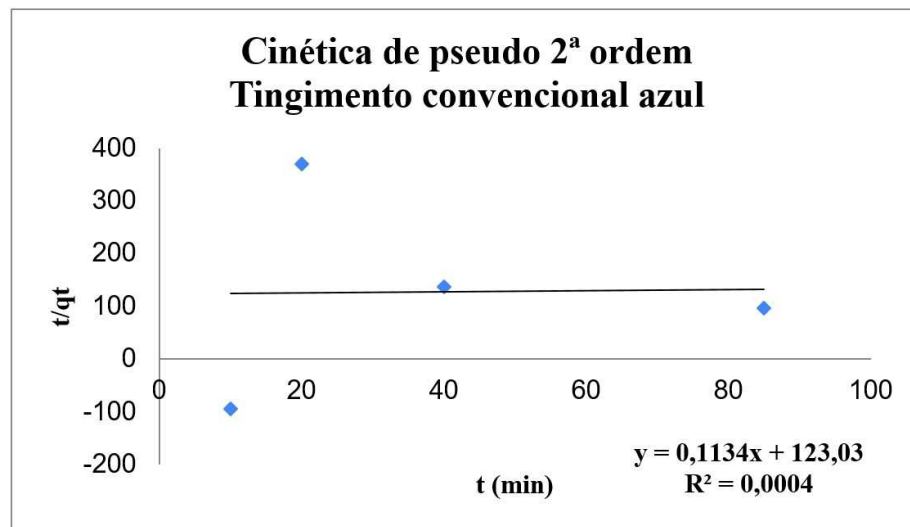
Para o corante amarelo, o modelo de pseudo-segunda ordem apresentou coeficiente de correlação maior, mas muito baixo para poder afirmar que este é o modelo que rege o tingimento.

Figura 17 - Cinética de pseudo-primeira ordem para corante Blue X-GRL 300%.



Fonte: Autora (2023).

Figura 18 - Cinética de pseudo-segunda ordem para corante Blue X-GRL 300%.

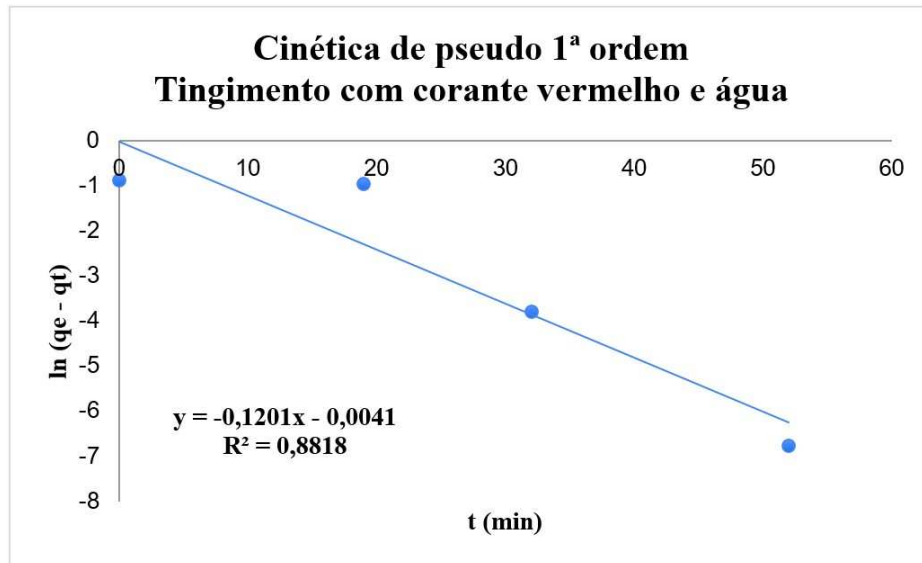


Fonte: Autora (2023).

Para ambos os modelos, pseudo-primeira e pseudo-segunda ordem, é perceptível que não houve uma adequação correta do comportamento cinético de adsorção. Entretanto, o modelo de pseudo-primeira ordem apresenta R^2 de 0,7822, indicando uma maior tendência a este modelo cinético.

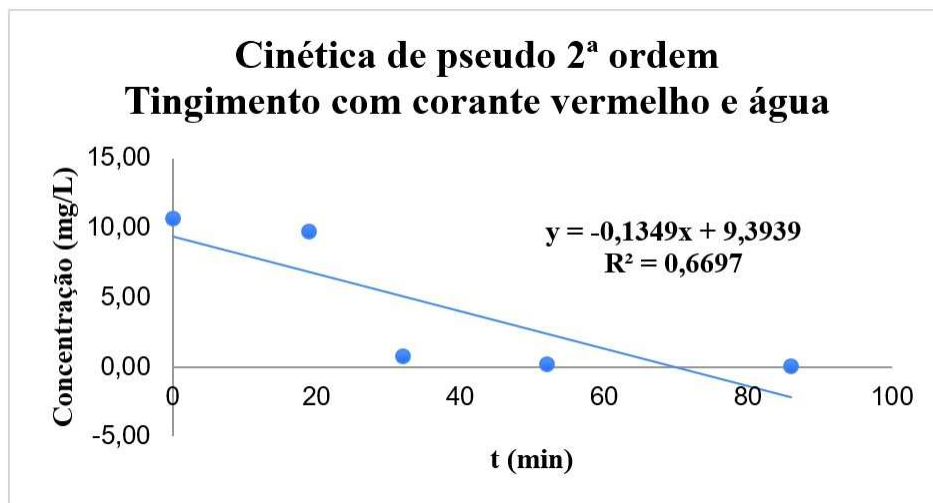
Quanto à avaliação de auxiliares, é possível observar os gráficos gerados a partir do teste sem dispersante e sem sal, nas figuras 19 e 20, e para o caso com dispersante sem sal, 21 e 22.

Figura 19 - Cinética de pseudo-primeira ordem para tingimento sem dispersante e sal.



Fonte: Autora (2023).

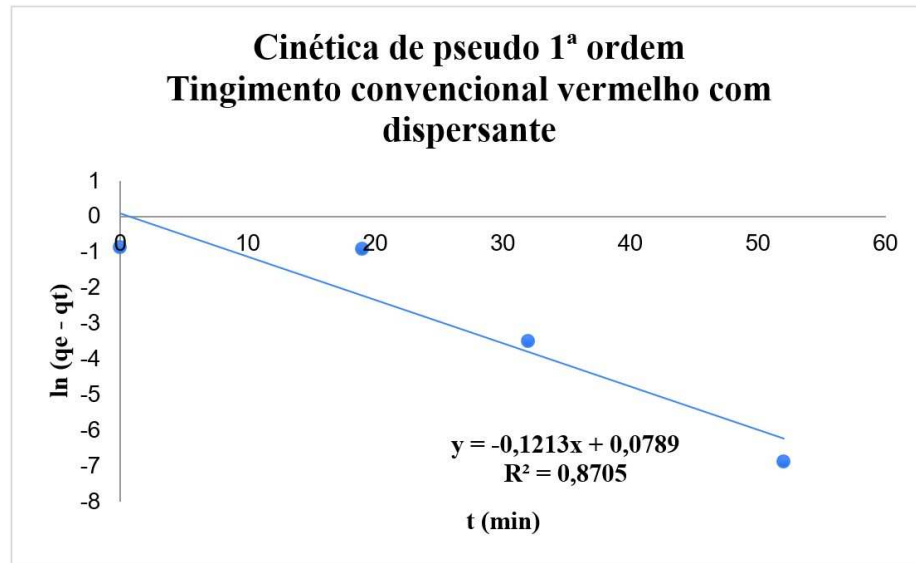
Figura 20 - Cinética de pseudo-segunda ordem para tingimento sem dispersante e sal.



Fonte: Autora (2023).

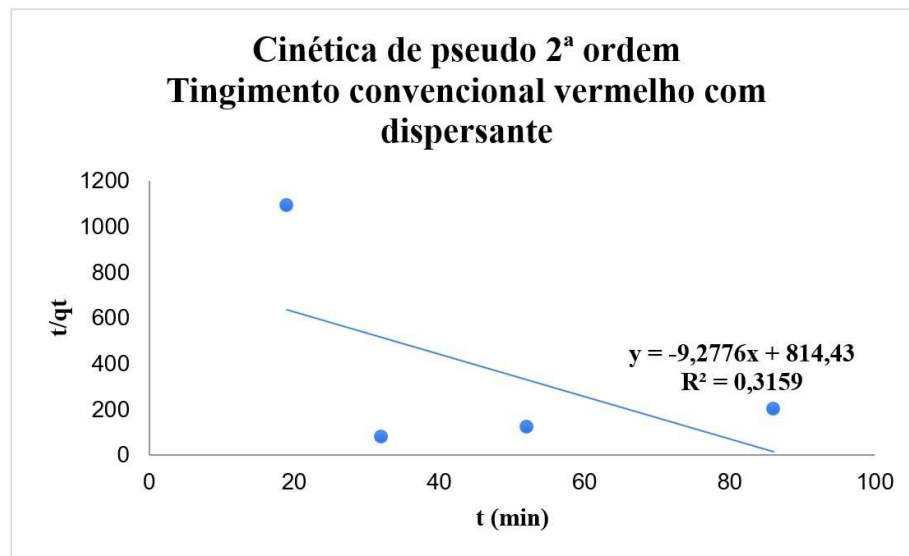
Nota-se que neste tingimento, o modelo de pseudo-primeira ordem exibiu melhor adequação ao processo do que os tingimentos convencionais com sal anteriores, com R^2 de 0,8818. O segundo, por sua vez, apresentou pouco ajuste.

Figura 21 - Cinética de pseudo-primeira ordem para tingimento com dispersante sem sal.



Fonte: Autora (2023).

Figura 22 - Cinética de pseudo-segunda ordem para tingimento com dispersante sem sal.

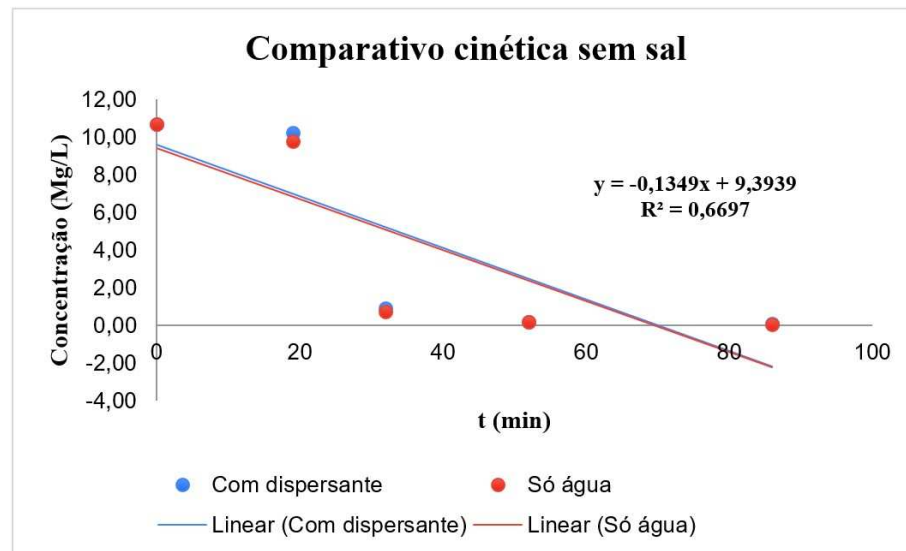


Fonte: Autora (2023).

O modelo de pseudo-primeira ordem mostrou maior ajuste, resultando em um R^2 de 0,8705, também, superior ao que foi obtido com tingimentos convencionais com sal. Para pseudo-segunda não houve um bom ajuste.

Por fim, é possível realizar um comparativo da cinética de tingimento entre os processos com e sem dispersante.

Figura 23 - Comparativo das cinéticas de tingimento sem sal.



Fonte: Autora (2023).

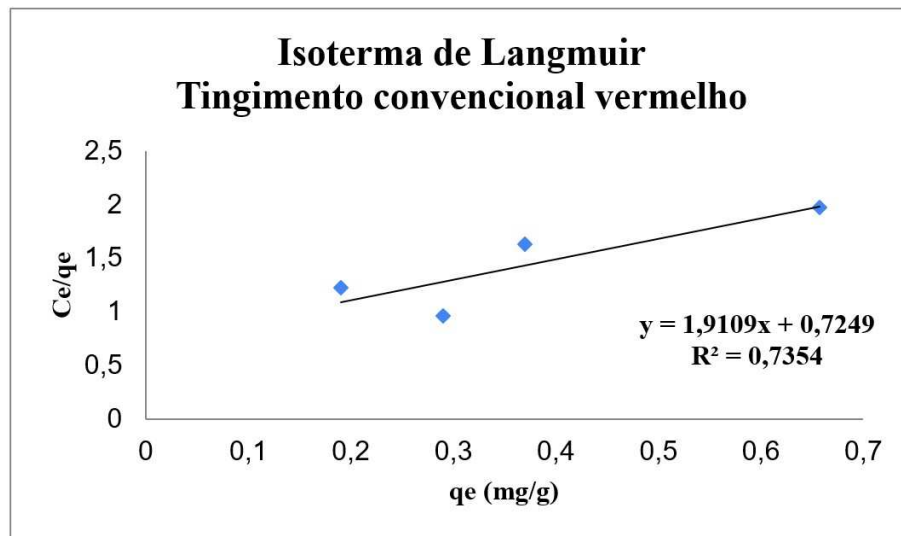
Conclui-se que a presença do dispersante não interfere significativamente no processo. Entretanto, ao avaliar a cinética de tingimentos com presença de sal, percebe-se que há maior concentração de corante no banho residual do que nos casos em que ele não é empregado.

4.5 ISOTERMAS DE ADSORÇÃO

Os estudos de isotermas de adsorção foram conduzidos assim como o cinético, utilizando o método convencional com sal para os três corantes, uma vez que estes dados não puderam ser obtidos para 75% óleo e 25% água sem sal, por conta de dificuldade do espectrofotômetro de absorvância na leitura de emulsões.

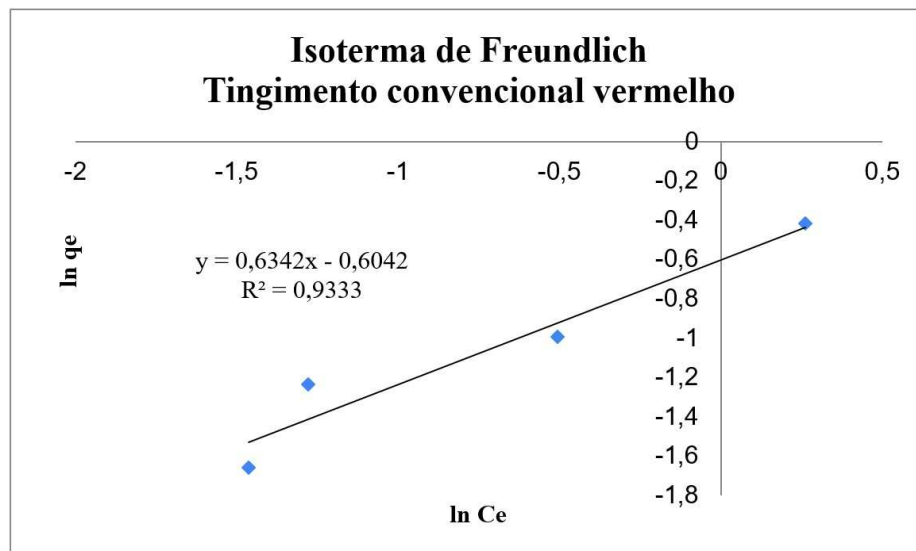
A análise foi realizada com base nos modelos matemáticos de Langmuir e Freundlich, que em termos quantitativos, definem a adsorção de solutos por uma superfície adsorvente, em função da concentração de equilíbrio do soluto (ALLEONI *et al.*, 1998). Desta maneira, foi possível identificar o mais adequado para o processo de tingimento em questão. É possível observar os gráficos gerados para os corantes vermelho nas figuras 24 e 25; para o amarelo, 26 e 27 e, para o azul, 28 e 29.

Figura 24 - Isoterma de Langmuir para corante Red X-GRL 400%.



Fonte: Autora (2023).

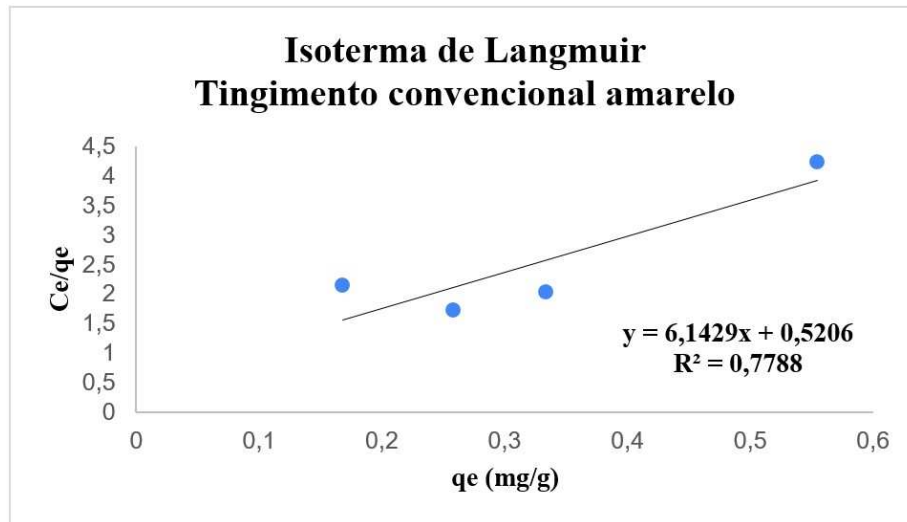
Figura 25 - Isoterma de Freundlich para corante Red X-GRL 400%.



Fonte: Autora (2023).

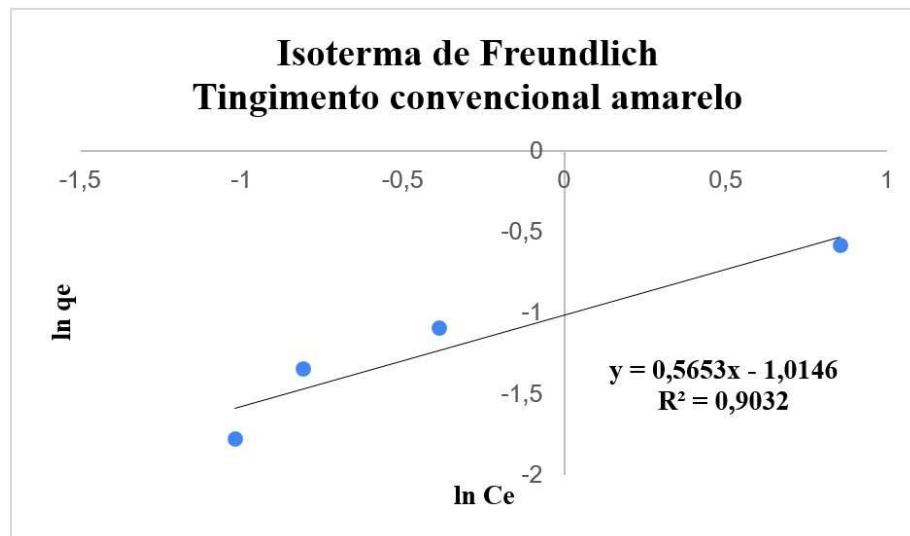
Para o corante vermelho, o modelo de Freundlich, apresentando um R^2 igual a 0,9333 indica que este modelo é o mais adequado ao processo de tingimento do acrílico com corante catiônico, porém, este resultado difere do que diz a literatura. Salem (2010), diz que o tingimento regido pela isoterma de Freundlich demonstra que corante e fibra tem a mesma polaridade, a interação corante/fibra é fraca, as ligações corante/fibra são por pontes de H e forças de Van der Waals. Esta curva representa o equilíbrio entre corantes diretos e fibras celulósicas.

Figura 26 - Isoterma de Langmuir para corante Yellow X-GL 400%.



Fonte: Autora (2023).

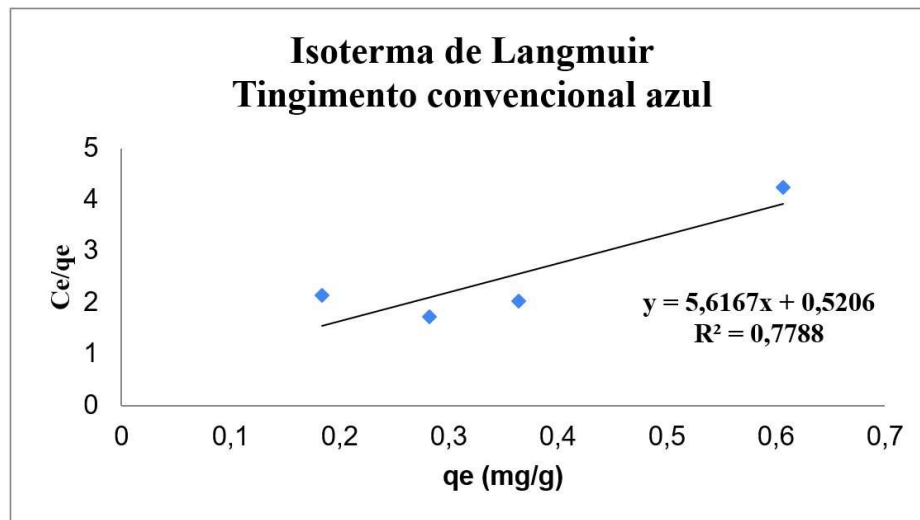
Figura 27 - Isoterma de Freundlich para corante Yellow X-GL 400%.



Fonte: Autora (2023).

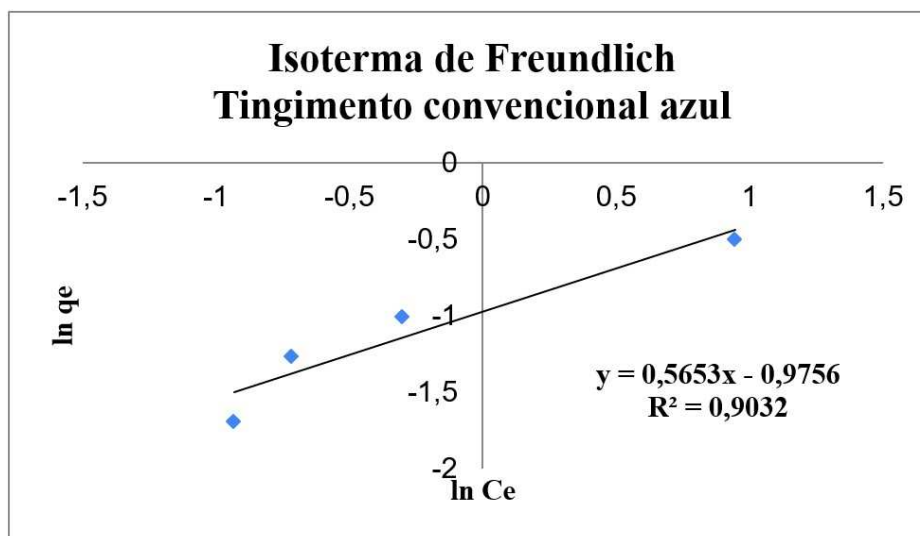
Para o tingimento com corante amarelo, novamente, o modelo de Freundlich apresentou maior ajuste, indicando uma discrepância frente a literatura.

Figura 28 - Isoterma de Langmuir para corante Blue X-GRL 300%.



Fonte: Autora (2023).

Figura 29 - Isoterma de Freundlich para corante Blue X-GRL 30

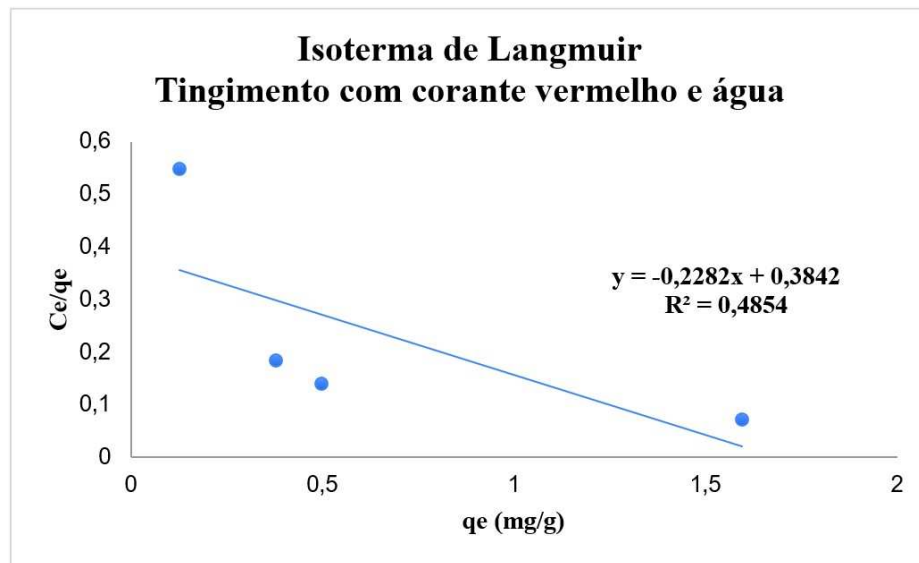


Fonte: Autora (2023).

Para o Blue X-GRL 300%, o modelo de Freundlich se mostrou mais adequado à representação do processo de tingimento, da mesma forma que para os últimos dois corantes avaliados.

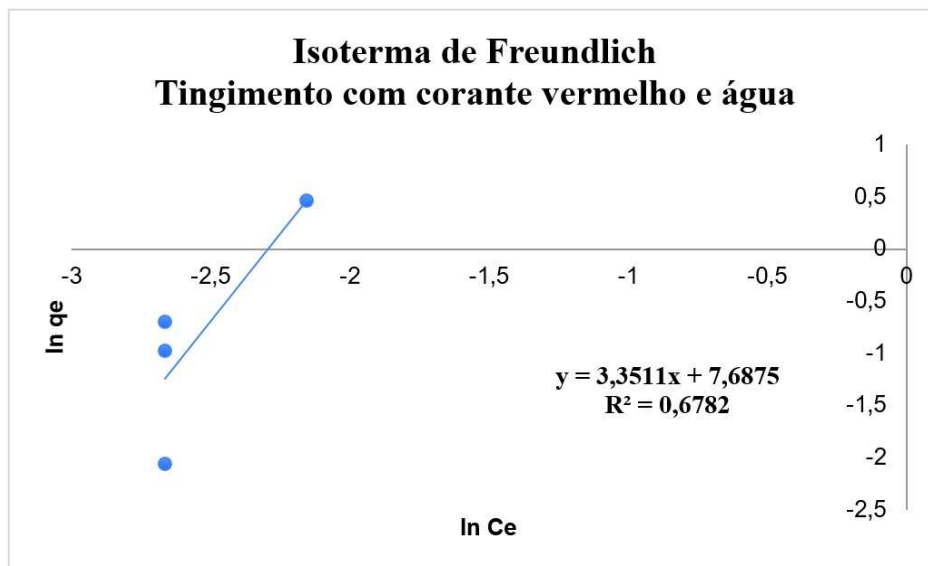
É possível observar os gráficos de Langmuir e Freundlich nas figuras 30 e 31, para avaliação da ação dos auxiliares no processo de tingimento.

Figura 30 - Isoterma de Langmuir para tingimento com corante e água.



Fonte: Autora (2023).

Figura 31 - Isoterma de Freundlich para tingimento com corante e água.



Fonte: Autora (2023).

Embora, no geral, o modelo de Freundlich tenha mostrado resultados mais satisfatórios sobre o processo de beneficiamento com apenas corante e água, assim como no convencional com sal, de acordo com a literatura, o tingimento de fibras de acrílico deveria ter se adequado melhor a Langmuir. Este fenômeno não pôde ser explicado, uma vez que não se aproximou do modelo indicado. Os parâmetros do tingimento foram verificados para garantir que os resultados não tivessem sido interferidos por uma adversidade na máquina.

5 CONCLUSÃO

Este estudo buscou identificar a viabilidade do tingimento de fibras de acrílico utilizando óleo de soja com diferentes corantes catiônicos, visando a redução de água no processo, além da diminuição da concentração de sal no banho de beneficiamento.

Inicialmente, foi realizada uma investigação a respeito da proporção de água e óleo adequada para a realização de um tingimento que resultasse em uma capacidade tintorial semelhante ou superior à dos métodos convencionais. Identificou-se que a utilização de 75% de óleo e 25% sem sal mostrou-se satisfatória.

Em seguida, foram realizados testes de solidez da cor. Os ensaios de solidez à fricção, lavagem e à luz mostraram que a presença do óleo de soja não alterou as propriedades dos substratos tingidos, uma vez que todos obtiveram nota máxima nas escalas de branco e cinza, referentes à alteração e migração de corante, respectivamente.

Em relação ao teste de manchas, foi possível confirmar que o tingimento com óleo identificado como mais promissor, apresentou uma baixa variação do ΔE para os três corantes utilizados, indicando maior homogeneidade de tingimento sobre as meadas de acrílico.

Os estudos sobre cinética de tingimento, indicaram que, para os três corantes, o modelo mais próximo da adequação foi o de pseudo-primeira ordem. Quanto às isotermas de adsorção, o modelo de Freundlich mostrou maior ajuste, contrariando os resultados encontrados na literatura.

Desta forma, concluiu-se que o emprego de óleo de soja possibilita a redução do consumo de água no processo de beneficiamento secundário, além de uma considerável diminuição de sal, gerando resultados com ótimas propriedades, comparadas às convencionais.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir dos resultados do estudo realizado, é possível estender as investigações a respeito do tingimento de fibras de acrílico com óleo de soja. Alguns dos possíveis estudos a serem realizados são:

- Viabilidade do tingimento de fibras de acrílico com diferentes tipos de óleos;
- Avaliação da capacidade tintorial por meio do emprego de diferentes óleos, além do óleo de soja;
- Avaliar o emprego do óleo de soja no tingimento de outras fibras;
- Definir a relação de banho mais adequada para o tingimento com óleo de soja;
- Estudar a reutilização do óleo de soja após o processo de tingimento.

REFERÊNCIAS

ALLEONI, Luís Reynaldo Ferracciu; CAMARGO, O. A.; CASAGRANDE, J. C. Isotermas de Langmuir e de Freundlich na descrição da adsorção de boro em solos altamente intemperizados. *Scientia Agricola*, v. 55, p. 379-387, 1998.

BOËCHAT, Iola Gonçalves et al. Crise da Água no Brasil. *Caderno de Geografia*, v. 31, n. 1, p. 1-1, 2021.

BRITO JÚNIOR, Carlos AR et al. Poliacrilonitrila: processos de fiação empregados na indústria. *Polímeros*, v. 23, p. 764-770, 2013.

CAPONE, Gary J.; MASSON, James C. Acrylic Fibers. *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*, 2002.

CHEQUER, FM Drumond et al. Textile dyes: dyeing process and environmental impact. *Eco-friendly textile dyeing and finishing*, v. 6, n. 6, p. 151-176, 2013.

CHOUDHURY, Asim Kumar Roy. Principles of Colour Appearance and Measurement: Volume 1: Object Appearance, Colour Perception and Instrumental Measurement. Cambridge: Woodhead Publishing, 2014. 425 p. (Woodhead Publishing Series in Textiles).

CHOUDHURY, Asim Kumar Roy. Principles of Colour Appearance and Measurement: Volume 2: Visual Measurement of Colour, Colour Comparison and Management. Cambridge: Woodhead Publishing, 2015. 375 p. (Woodhead Publishing Series in Textiles)

CLARK, M. Handbook of Textile and Industrial Dyeing: Volume 1: Principles, Processes and Types of Dyes. Cambridge: Woodhead Publishing, 2011a. 671 p. (Woodhead Publishing Series in Textiles)

CLARK, M. Handbook of Textile and Industrial Dyeing: Volume 2: Applications of Dyes. Cambridge: Woodhead Publishing, 2011b. 316 p. (Woodhead Publishing Series in Textiles).

ERICKSON, David R. (Ed.). Practical handbook of soybean processing and utilization. Elsevier, 2015.

EICHHORN, S. J. et al. Handbook of Textile Fibre Structure: Volume 1: Fundamentals.

FERREIRA, D. D. M.; KELLER, J.; SILVA, L. E. DA. A Utilização da água pela indústria têxtil: Uma pesquisa no município de Brusque, SC. Inter Science Place - Revista Científica Internacional, v. Ano 2-n o , p. 1–19, 2009.

FERREIRA, Ester SB et al. The natural constituents of historical textile dyes. Chemical Society Reviews, v. 33, n. 6, p. 329-336, 2004.

FIORIO, V. Prejuízo da falta de água na indústria têxtil é incalculável. Disponível em: . https://www.em.com.br/app/noticia/economia/2015/01/29/internas_economia,612770/prejuizo-da-falta-de-agua-para-a-industria-textil-e-incalculavel-diz.shtml. Acesso em: 26 out. 2023.

GUARATINI, Cláudia CI; ZANONI, Maria Valnice B. Corantes têxteis. Química nova, v. 23, p. 71-78, 2000.

GUNSTONE, Frank (Ed.). Vegetable oils in food technology: composition, properties and uses. John Wiley & Sons, 2011.

HEARLE, J. W. S. Textile fibers: a comparative overview. Encyclopedia of Materials: Science and Technology, p. 9100-9116, 2001.

HOLME, Ian. Sir William Henry Perkin: a review of his life, work and legacy. Coloration Technology, v. 122, n. 5, p. 235-251, 2006.

HOLMBERG, Kenneth et al. Friction and wear of coated surfaces—scales, modelling and simulation of tribomechanisms. Surface and Coatings Technology, v. 202, n. 4-7, p. 1034-1049, 2007.

HOUCK, Max M. Identification of Textile Fibers. Cambridge: Woodhead Publishing, 2009. 390 p. (Woodhead Publishing Series in Textiles).

HOUTZ, R. C. "Orlon" Acrylic Fiber: Chemistry and Properties. *Textile Research Journal*, v. 20, n. 11, p. 786-801, 1950.

JOHNSON, Lawrence A.; WHITE, Pamela J.; GALLOWAY, Richard (Ed.). *Soybeans: chemistry, production, processing, and utilization*. Elsevier, 2015.

KHATTAB, Tawfik A.; ABDELRAHMAN, Meram S.; REHAN, Mohamed. *Textile dyeing industry: environmental impacts and remediation*. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 27, p. 3803-3818, 2020.

MAHAPATRA, N. N. *Textile dyes*. CRC press, 2016.

MARK, Herman F. *Encyclopedia of polymer science and technology*, 15 volume set. New York, NY, USA.: Wiley, 2014.

MARENGO, J. A. *Water and Climate Change*. *Estudos Avançados*, v. 22, n. 63, p. 83–96, 2008.

MARSAL AMENÓS, Félix. *Controle da ensimagem na fiação*. *Textília: têxteis interamericanos*, n. 86, p. 26-29, 2012.

MELO, Maria J. *History of natural dyes in the ancient Mediterranean world*. *Handbook of natural colorants*, v. 8, p. 1, 2009.

PATZEK, Tad W. *A first law thermodynamic analysis of biodiesel production from soybean*. *Bulletin of Science, Technology & Society*, v. 29, n. 3, p. 194-204, 2009.

REBOUÇAS, Aldo C. *Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez*. *Bahia análise & dados*, v. 13, n. esp., p. 341-345, 2003.

SALEM, Vidal. *Tingimento têxtil: fibras, conceitos e tecnologias*. Editora Blucher, 2010.

SCHMIDT, Michele. Avaliação do potencial tintorial do extrato da cúrcuma sobre fibras têxteis e a liberação do seu princípio ativo curcumina. 2022. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Têxtil, Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2022.

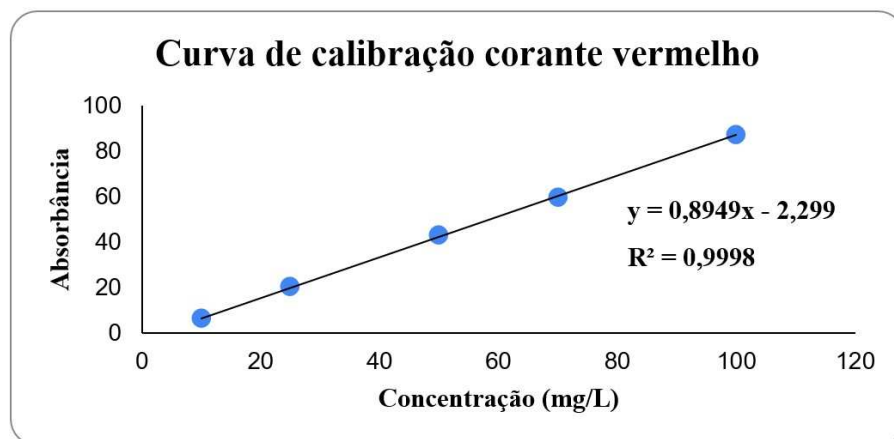
SHARMA, Jyotshana; SHARMA, Shubhangani; SONI, Vineet. Classification and impact of synthetic textile dyes on Aquatic Flora: A review. *Regional Studies in Marine Science*, v. 45, p. 101802, 2021.

SLAMA, Houda Ben et al. Diversity of synthetic dyes from textile industries, discharge impacts and treatment methods. *Applied Sciences*, v. 11, n. 14, p. 6255, 2021.

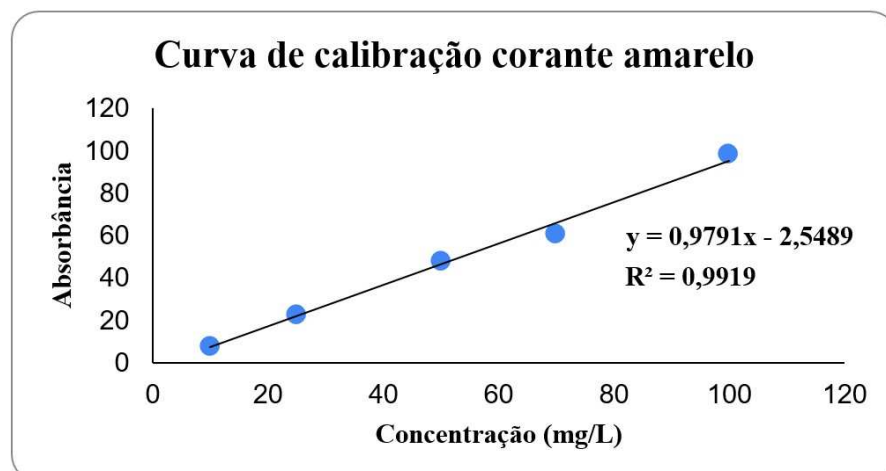
APÊNDICE A - Descrição

3.6.1 Curva de calibração

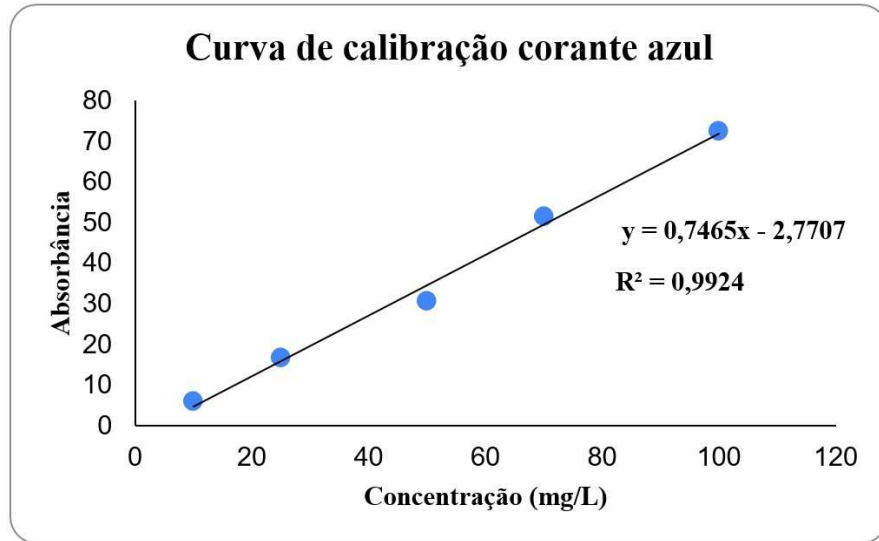
A fim de determinar as concentrações de corante nos banhos residuais e nas fibras, deve-se determinar o comprimento de onda de cada um dos colorantes empregados no processo. Para o Red GRL-400% foi encontrado 533 nm; para o Yellow GL-400%, 439 nm e, para o Blue GRL-300%, 611 nm. Estes dados foram fundamentais para gerar as curvas de calibração, desenvolvidas através da diluição de concentrações de 10, 25, 50, 70 e 100 mg/L dos corantes e dos seus respectivos valores de absorbância. Por meio delas, foi possível obter as equações de absorbância *versus* concentração para cada um dos corantes.



Fonte: Autora (2023).



Fonte: Autora (2023).



Fonte: Autora (2023).