



**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE AMERICANA “Ministro Ralph Biasi”
Curso Superior de Tecnologia em Produção Têxtil**

Lucas Maia Fortunato
Estevão de Oliveira Xavier

TINGIMENTO REATIVO SEMI-CONTÍNUO E OS EFEITOS DA
HIDRÓLISE

Americana, SP

2025

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE AMERICANA “Ministro Ralph Biasi”
Curso Superior de Tecnologia em Produção Têxtil**

Lucas Maia Fortunato
Estevão de Oliveira Xavier

**TINGIMENTO REATIVO SEMI-CONTÍNUO E OS EFEITOS DA
HIDRÓLISE**

Trabalho de Conclusão de Curso desenvolvido
em cumprimento à exigência curricular do Curso
Superior de Tecnologia em Produção Têxtil sob
a orientação do Prof. Dr. João Batista Giordano

Área de concentração: Desenvolvimento e
Análises

Americana, S. P.

2025

FORTUNATO , Lucas Maia

Tingimento reativo semi-contínuo e os efeitos da hidrólise. /
Lucas Maia Fortunato, Estevão de Oliveira Xavier – Americana, 2025.

37f.

Monografia (Curso Superior de Tecnologia em Produção
Têxtil) - - Faculdade de Tecnologia de Americana Ministro Ralph
Biasi – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza

Orientador: Prof. Dr. João Batista Giordano

1. Tecnologia têxtil – controle de qualidade 2. Têxtil –
processos industriais 3. Tingimento. I. FORTUNATO, Lucas Maia, II.
XAVIER, Estevão de Oliveira III. GIORDANO, João Batista IV. Centro
Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – Faculdade de
Tecnologia de Americana Ministro Ralph Biasi

CDU: 677:658.8
677.02
677.027.4

Elaborada pelo autor por meio de sistema automático gerador de
ficha catalográfica da Fatec de Americana Ministro Ralph Biasi.

Lucas Maia Fortunato
Estevão de Oliveira Xavier

TINGIMENTO REATIVO CONTÍNUO E OS EFEITOS DA HIDRÓLISE

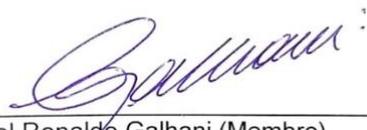
Trabalho de graduação apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Produção Têxtil pelo CEETEPS/Faculdade de Tecnologia de Americana "Ministro Ralph Biasi".
Área de concentração: Desenvolvimento e Análises

Americana, 26 de junho de 2025.

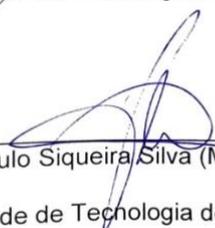
Banca Examinadora:



João Batista Giordano (Presidente)
Doutor
Faculdade de Tecnologia de Americana "Ministro Ralph Biasi"



Miguel Ronaldo Galhane (Membro)
Especialista
Faculdade de Tecnologia de Americana "Ministro Ralph Biasi"



Alex Paulo Siqueira Silva (Membro)
Mestre
Faculdade de Tecnologia de Americana "Ministro Ralph Biasi"

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Professor Dr. João Batista Giordano, nosso orientador, por sua paciência, orientação e incentivo ao longo da realização desse trabalho.

Agradecemos profundamente aos nossos pais, familiares, companheiras e amigos por todo apoio emocional e compreensão durante os momentos difíceis.

Agradecemos também aos nossos colegas de classe por toda ideia proporcionada através das trocas de experiência durante as diversas etapas desse trabalho.

DEDICATÓRIA

Dedicamos aos nossos pais por todo apoio e paciência, as nossas companheiras por todo incentivo, aos professores e amigos pelos anos juntos adquirindo conhecimento e compartilhando aprendizados.

RESUMO

O tingimento semi-contínuo com corantes reativos pelo processo pad-batch é amplamente utilizado na indústria têxtil, especialmente para fibras celulósicas como o algodão. Esse método se destaca por sua eficiência, economia de recursos e boa uniformidade de cor. O processo inicia-se com a preparação da matéria-prima, onde o tecido é beneficiado por etapas como alvejamento e mercerização, garantindo melhor absorção dos corantes.

Na etapa de tingimento, o tecido passa pelo foulard de impregnação (pad), sendo impregnado com um banho composto por corante reativo, álcali (geralmente carbonato ou hidróxido de sódio), e auxiliares. Um ponto essencial nesse processo é o controle do pick-up, que determina a quantidade de banho retida pelo tecido. O ajuste correto do pick-up evita desperdícios, melhora a eficiência do tingimento e reduz a carga poluente dos efluentes.

Após a impregnação, o tecido é enrolado em rolos (batch) e armazenado por um tempo controlado, em condições específicas de temperatura e umidade. Nessa fase, ocorre a reação química entre o corante e os grupos hidroxila da celulose, formando ligações covalentes estáveis que garantem a fixação da cor.

Uma das principais problemáticas do processo é a hidrólise do corante reativo. Após a introdução do álcali no banho, inicia-se uma reação paralela onde o corante pode reagir com a água, perdendo sua capacidade de se fixar à fibra. Se o banho não for utilizado logo após sua preparação, o corante hidrolisado permanece no tecido, mas é removido nas lavagens subsequentes, causando perda de intensidade de cor e aumento do desperdício.

Portanto, o sucesso do pad-batch depende do controle preciso do tempo entre a preparação e o uso do banho, da regulagem do pick-up e da compreensão das reações químicas envolvidas, garantindo eficiência, qualidade e sustentabilidade no processo de tingimento.

Palavras-chave: Tingimento reativo, Pad-batch, Pick-up, Hidrólise.

ABSTRACT

Semi-continuous dyeing with reactive dyes using the pad-batch process is widely employed in the textile industry, especially for cellulosic fibers such as cotton. This method stands out for its efficiency, resource savings, and good color uniformity. The process begins with the preparation of the raw material, in which the fabric undergoes treatments such as bleaching and mercerization to ensure better dye absorption.

In the dyeing stage, the fabric passes through the impregnation foulard (pad), where it is impregnated with a bath composed of reactive dye, alkali (usually sodium carbonate or sodium hydroxide), and auxiliaries. A critical point in this process is the control of the pick-up, which determines the amount of bath retained by the fabric. Proper adjustment of the pick-up avoids waste, improves dyeing efficiency, and reduces the pollutant load of the effluents.

After impregnation, the fabric is rolled up (batch) and stored for a controlled period under specific temperature and humidity conditions. During this phase, the chemical reaction between the dye and the hydroxyl groups of cellulose occurs, forming stable covalent bonds that ensure color fixation.

One of the main issues in the process is the hydrolysis of the reactive dye. After the alkali is added to the bath, a parallel reaction begins in which the dye can react with water, losing its ability to bond with the fiber. If the bath is not used immediately after preparation, the hydrolyzed dye remains on the fabric but is removed during subsequent washings, leading to color loss and increased waste.

Therefore, the success of the pad-batch process depends on precise control of the time between bath preparation and use, correct adjustment of the pick-up, and a thorough understanding of the chemical reactions involved, ensuring efficiency, quality, and sustainability in the dyeing process.

Keywords: Reactive dyeing, Pad-batch, Pick-up, Hydrolysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1:	Impregnação do Tecido.....	18
Figura 2:	Formação do Rolo.....	18
Figura 3:	Processo Pad-Batch.....	19
Figura 4:	Fórmula para verificação do Pick-Up.....	20
Figura 5:	Esquema de ligação covalente do corante reativo com a hidroxila da fibra.....	21
Figura 6:	Esquema da hidrólise e ligação covalente com a fibra.....	23
Figura 7:	Teste de hidrólise da cor azul.....	29
Figura 8:	Teste de hidrólise da cor cinza.....	30
Figura 9:	Variação no espectrofotômetro da cor azul com o tempo de repouso.....	31
Figura 10:	Variação no espectrofotômetro da cor cinza com o tempo de repouso.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resumo das duas reações concorrentes.....	24
Tabela 2: Amostra Azul (Corante Isolado)	31
Tabela 3: Amostra Cinza (Mistura de Corantes)	33

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	Justificativa.....	12
1.2	Objetivos.....	13
1.3	Metodologia.....	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1	Conceitos Gerais de Tingimento.....	14
2.2	Corantes Reativos: Características e Aplicações.....	15
2.3	Preparação da Matéria-Prima Têxtil.....	15
	2.3.1 Alvejamento.....	16
	2.3.2 Mercerização.....	16
3	PROCESSO PAD-BATCH.....	17
3.1	Descrição Geral do Processo.....	17
3.2	Etapas do Tingimento Semi-Contínuo.....	17
	3.2.1 Impregnação do Tecido (Pad)	17
	3.2.2 Formação do Rolo (Batch)	18
3.3	Controle do Pick-up e sua Importância.....	19
3.4	Fixação do Corante Reativo no Tingimento Pad-Batch.....	20
4	PROBLEMÁTICA DA HIDRÓLISE NO TINGIMENTO REATIVO.....	23
4.1	Reação da Hidrólise nos Corantes.....	23
4.2	Impactos da Hidrólise na Qualidade e Desempenho do Tingimento.....	24
4.3	Medidas Preventivas.....	25
5	ESTUDO DE CASO: AVALIAÇÃO DA HIDRÓLISE.....	26
5.1	Objetivo do Estudo.....	26
5.2	Materiais e Métodos.....	26
	5.2.1 Materiais Físicos e Produtos Químicos Utilizados.....	26
	5.2.2 Metodologia do Experimento.....	27
5.3	Resultados e Discussões.....	29
5.4	Conclusões do Estudo de Caso.....	34
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	35
6.1	Conclusões.....	35
6.2	Sugestões para Trabalhos Futuros.....	35

REFERÊNCIAS.....	37
------------------	----

1 INTRODUÇÃO

O tingimento reativo semi-contínuo, especialmente pelo processo *pad-batch*, é amplamente empregado na indústria têxtil por sua eficiência, economia e qualidade na fixação da cor em fibras celulósicas, como o algodão. Este método permite uma aplicação controlada do banho de tingimento, otimizando o uso de insumos e contribuindo para a sustentabilidade industrial. (Cetiqt, 2010)

Antes da aplicação do corante, o tecido passa por processos de preparação como o alvejamento e a mercerização, que garantem melhores condições de absorção da cor. Na etapa de tingimento, a impregnação do tecido com o banho contendo corante reativo, álcali e auxiliares ocorre através da imersão do mesmo no processo, sendo de extrema importância o controle do *pick-up*, que determina a quantidade de banho absorvido pelo tecido. Esse controle é essencial para evitar desperdícios, garantir uniformidade de cor e reduzir a carga poluente dos efluentes (Cetiqt, 2010).

Apesar dos benefícios do processo *pad-batch*, uma das problemáticas enfrentadas é a hidrólise do corante reativo, que pode ocorrer quando há demora entre a introdução do álcali no banho e sua aplicação no tecido. Essa reação paralela com a água faz com que parte do corante perca sua capacidade de se fixar às fibras, reduzindo a eficiência do tingimento e aumentando as perdas de produto (Cetiqt, 2010).

1.1 Justificativa

A justificativa para este trabalho está na importância de aprimorar os processos de tingimento, minimizando perdas econômicas e ambientais causadas pela hidrólise dos corantes. A análise prática dessa problemática contribui para o desenvolvimento de soluções eficazes dentro do ambiente industrial. Além disso, o controle adequado do *pick-up* e a utilização imediata do banho após a adição do álcali reforçam a sustentabilidade e a eficiência do processo, alinhando-se às exigências contemporâneas da indústria têxtil.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal explicar a importância da eficiência no tingimento reativo semi-contínuo por *pad-batch*, especialmente no que se refere à prevenção da hidrólise. Pretende-se demonstrar que iniciar o tingimento logo após a adição do álcali ao banho é uma prática fundamental para evitar perdas de corante, auxiliares e garantir a qualidade do tingimento.

Além disso, busca-se ressaltar a importância do controle do *pick-up*, que contribui para o aproveitamento máximo do banho, reduzindo o desperdício de produtos químicos e promovendo maior sustentabilidade ao processo.

1.3 Metodologia

A metodologia adotada baseou-se em um estudo de causa e efeito, no qual foram realizados testes práticos de tingimento em escala reduzida em laboratório. Foram aplicadas seis condições diferentes: tingimento logo após a adição do álcali, uma hora e meia após a adição, três horas, seis horas, doze horas e por fim vinte e quatro horas, com o objetivo de observar os efeitos da hidrólise.

Paralelamente, foram estudados os níveis de *pick-up* adequados por meio de pesquisas e dados adquiridos com o tempo de trabalho e estudo, contribuindo para uma análise mais precisa do impacto do controle de absorção do banho no desempenho geral do processo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Conceitos Gerais de Tingimento

O tingimento com corantes reativos é empregado na indústria têxtil para fibras celulósicas, como o algodão, devido à formação de ligações covalentes entre o corante e a fibra, o que garante excelente solidez de cor e resistência às lavagens. Dentre os métodos mais utilizados para esse tipo de tingimento, destaca-se o *pad-batch*, conhecido por aliar eficiência, economia de recursos e uniformidade no resultado final (Cetiqt, 2010).

Nesse processo, o tecido é impregnado com um banho contendo corante reativo, álcali e auxiliares, por meio de um *fourlard (pad)*, que assegura a distribuição uniforme do banho no substrato têxtil. O controle do *pick-up*, ou seja, a quantidade de banho absorvida pelo tecido, é um fator essencial, pois influencia diretamente a qualidade da cor, o rendimento do processo e a sustentabilidade, ao evitar desperdícios de insumos (Abtt, 2011).

Após a impregnação, o tecido é enrolado (*batch*) é armazenado em repouso sob condições controladas de temperatura e umidade, permitindo que ocorra a reação entre o corante e os grupos hidroxila da celulose. Contudo, uma das principais limitações desse método está relacionada à hidrólise do corante. Caso o banho não seja utilizado logo após a adição do álcali, o corante reativo pode reagir com a água em vez de com a fibra, formando compostos que não se fixam ao tecido, o que resulta em menor intensidade de cor e maior carga poluente nos (Cetiqt, 2010).

Portanto, o sucesso do *pad-batch* depende do controle do tempo entre a preparação e o uso do banho, da regulação adequada do *pick-up* e da compreensão química do comportamento dos corantes reativos. Quando corretamente aplicado, o processo proporciona tingimentos de alta qualidade, com menor impacto ambiental e melhor aproveitamento dos recursos.

2.2 Corantes Reativos: Características e Aplicações

Os corantes reativos constituem uma das classes mais utilizadas na indústria têxtil, especialmente no tingimento de fibras celulósicas, devido à sua alta afinidade e excelente solidez. Sua principal característica está na presença de um grupo reativo que forma ligações covalentes com os grupos hidroxila da celulose durante o processo de tingimento, proporcionando fixação duradoura da cor à fibra (Cetiqt, 2010).

Diferentemente de outras classes de corantes, os reativos não se prendem apenas por forças físico-químicas, mas reagem quimicamente com a fibra, tornando o tingimento mais resistente à lavagem e ao desgaste. Essa propriedade é devidamente vantajosa para produtos que exigem alta durabilidade, como roupas profissionais, vestuário infantil, roupas de cama e banho, entre outros (Ferreira, 2012).

Os corantes reativos são classificados conforme o tipo de grupo reativo presente em sua estrutura, sendo cada um deles mais adequado para determinadas condições de pH e temperatura. No processo *pad-batch*, algumas classes de corantes são amplamente empregadas por permitir aplicação contínua, bom rendimento e adaptação ao uso de produtos auxiliares que otimizam a penetração e fixação da cor (Cetiqt, 2010).

Portanto, compreender o comportamento dos corantes reativos, bem como seus mecanismos de reação com a fibra e com a água, é essencial para sua aplicação eficaz no processo *pad-batch*, contribuindo para a sustentabilidade e qualidade no tingimento têxtil.

2.3 Preparação da Matéria Prima Têxtil

Antes do tingimento, o tecido deve passar por processos de preparação que removem impurezas naturais e artificiais da fibra, assegurando uma superfície limpa, homogênea e apta a receber os corantes. Dentre os principais processos de preparação, destacam-se o alvejamento e a mercerização.

2.3.1 Alvejamento

O alvejamento é uma etapa fundamental no beneficiamento têxtil, responsável pela remoção de impurezas naturais, como ceras, pigmentos e outros compostos orgânicos presentes nas fibras celulósicas. Além disso, esse processo contribui para o branqueamento do substrato, preparando o tecido para a recepção homogênea dos corantes e assegurando a uniformidade de cor no tingimento subsequente.

O agente alvejante mais utilizado é o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), aplicado em meio alcalino, geralmente com o uso de estabilizantes para controlar sua decomposição. O alvejamento com peróxido é eficaz, relativamente econômico e ambientalmente mais seguro em comparação a outros agentes oxidantes, como o hipoclorito de sódio (Juliano; Pacheco, [s.d.]). Uma boa prática de alvejamento garante maior afinidade da fibra ao corante, melhora a uniformidade da coloração e reduz falhas, manchas ou perda de intensidade cromática durante o tingimento.

2.3.2 Mercerização

A mercerização é um tratamento com hidróxido de sódio (NaOH) concentrado que altera a estrutura do algodão, melhorando seu brilho, resistência, afinidade com corantes e absorção de umidade. Além de aprimorar o toque e o aspecto visual, torna o tingimento mais uniforme devido à superfície mais regular e reativa das fibras. A tensão aplicada durante o processo é essencial para manter o comprimento do fio e aumentar a resistência mecânica. (Pereira, [s.d.]).

Assim, a mercerização é especialmente importante em processos como o *pad-batch*, onde se busca alta fixação do corante reativo. Tecidos mercerizados tendem a apresentar melhor desempenho na absorção e fixação do banho de tingimento, contribuindo para maior rendimento e menor desperdício de produtos.

3 PROCESSO PAD-BATCH

O processo *Pad-Batch* é uma técnica de tingimento contínuo amplamente utilizada para fibras celulósicas, principalmente o algodão, com corantes reativos. Trata-se de um método que alia simplicidade operacional, baixo consumo energético, economia de água e boa reprodutibilidade de cor. Sua principal característica é a impregnação do tecido com um banho de tingimento seguido de um repouso controlado, sem a necessidade de calor imediato, permitindo a reação do corante com a fibra por meio de ligações covalentes (Juliano; Pacheco, [s.d.]).

3.1 Descrição Geral do Processo

O processo *Pad-Batch* envolve duas etapas principais: a impregnação do tecido com o banho de tingimento e a formação de rolos para repouso. O corante reativo é aplicado com auxílio de *foulards (pad)*, que distribui o banho uniformemente sobre o tecido. O tecido impregnado é então enrolado em forma de rolos (*batch*) e mantido em repouso a temperatura ambiente por um período determinado (geralmente entre 6 e 24 horas), onde ocorre a reação entre o corante e a celulose.

3.2 Etapas do Tingimento Semi-Contínuo

3.2.1 Impregnação do Tecido (Pad)

Na etapa de pad, o tecido passa por uma cuba, ou tanque, contendo o banho composto por corante reativo, álcali e aditivos auxiliares. Em seguida, passa por cilindros espremedores (*foulards*) que garantem a penetração adequada do banho e controlam a quantidade de líquido retido no tecido. Essa etapa é crucial para garantir a uniformidade do tingimento e a eficiência da reação subsequente (Cetiqt, 2010).

Figura 1 – Impregnação do Tecido



Fonte: Google

3.2.2 Formação do Rolo (Batch)

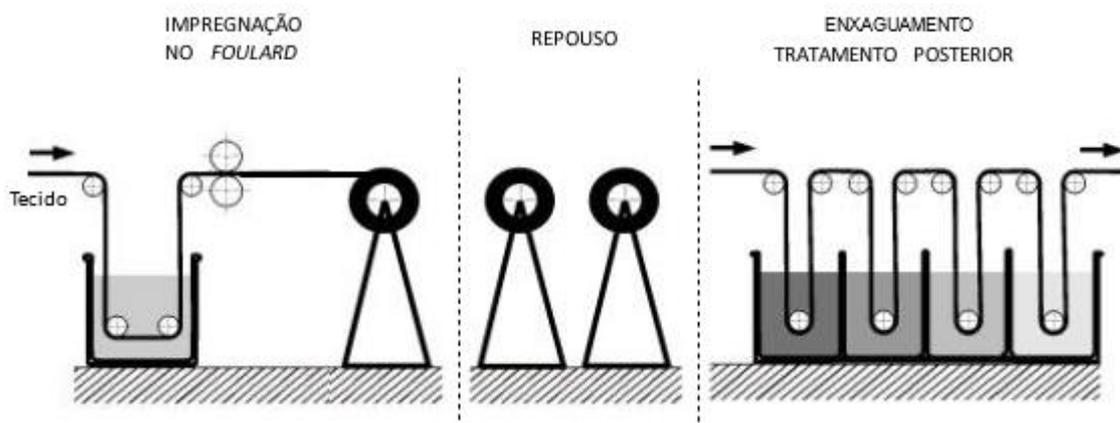
Após a impregnação, o tecido é enrolado em rolos compactos, conhecidos como *batch*, e armazenado sob condições controladas de umidade e temperatura. Durante esse repouso, ocorre a fixação do corante à fibra. A formação do *batch* deve ser feita cuidadosamente para evitar vincos e garantir que a reação ocorra de forma homogênea ao longo de todo o tecido (Cetiqt, 2010).

Figura 2 – Formação do Rolo



Fonte: Google

Figura 3 – Processo Pad-Batch



Fonte: CETIQT, 2010

3.3 Controle de Pick-Up e sua Importância

O controle do *pick-up*, ou grau de absorção de banho pelo tecido é uma etapa crítica no tingimento contínuo pelo processo *pad-batch*, pois influencia diretamente a uniformidade da cor, a eficiência da fixação do corante e o consumo de insumos. Esse controle permite otimizar os recursos utilizados no processo, contribuindo tanto para a economia de produtos quanto para a sustentabilidade ambiental da operação.

Na prática laboratorial, o *pick-up* é determinado por meio de um teste simples, porém fundamental. Inicialmente, utiliza-se uma amostra de tecido seco, previamente pesada, por exemplo, com massa de 5 gramas. Essa amostra é então impregnada com o banho de tingimento e passada pelos cilindros espremedores (*pad*), que removem o excesso de líquido de forma controlada. Em seguida, o tecido úmido é novamente pesado, e com os dados obtidos calcula-se a porcentagem de *pick-up* utilizando a seguinte fórmula.

Figura 4 – Fórmula para verificação do Pick-Up

$$\text{Pick-up (\%)} = \frac{\text{Peso Úmido} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Seco}} \times 100$$

Fonte: Elaborado pelos autores

Onde:

- Peso úmido é o peso do tecido após a passagem pelos cilindros.
- Peso seco é o peso do tecido antes da impregnação.

Esse cálculo fornece a quantidade de banho efetivamente absorvida pelo tecido, o que permite ajustar os parâmetros do processo para garantir que a quantidade de corante e produtos químicos seja suficiente, mas sem excessos. Um *pick-up* muito alto pode indicar desperdício de banho, aumento da carga poluente e maior risco de hidrólise do corante reativo. Já um valor muito baixo pode comprometer a uniformidade da cor e a fixação adequada (Salim; de Marchi; Menezes, 2005).

Assim, a realização desse teste em laboratório não só valida as condições de produção como também fornece dados concretos para otimizar o processo industrial, garantindo maior qualidade, reprodutibilidade e sustentabilidade no tingimento reativo *pad-batch*.

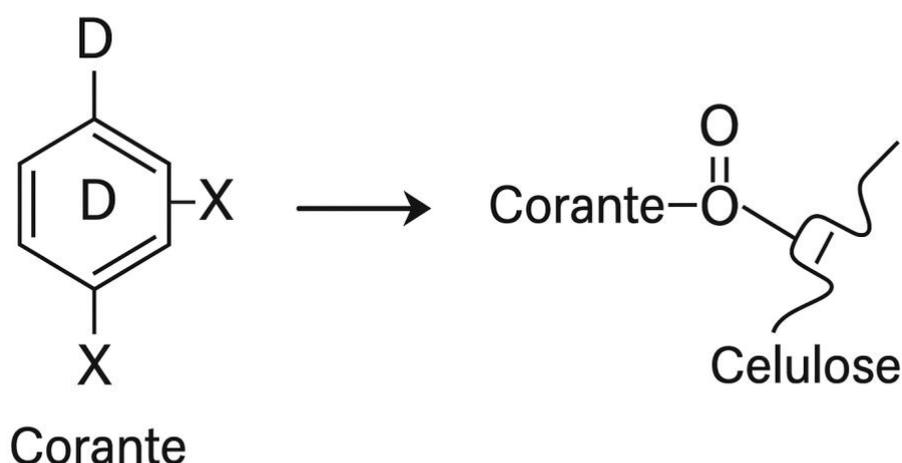
3.4 Fixação do Corante Reativo no Tingimento Pad-Batch

A fixação dos corantes reativos no processo *pad-batch* é caracterizada por uma reação química entre os grupos reativos do corante e os grupos hidroxila presentes na estrutura da celulose. Essa etapa é o diferencial dos corantes reativos em relação a outros tipos, como os diretos ou os ácidos, pois ao invés de apenas se adsorverem na superfície da fibra, os reativos formam ligações covalentes com a fibra, resultando em maior solidez à lavagem, fricção e exposição à luz.

A estrutura química dos corantes reativos inclui um ou mais grupos reativos que, em meio alcalino e sob temperatura adequada, reagem com as hidroxilas da celulose

formando ligações do tipo éster ou éter, dependendo da estrutura do corante. A ligação éster ocorre quando o grupo reativo do corante reage com a hidroxila da celulose formando uma ligação entre um grupo ácido e um álcool, resultando em uma conexão relativamente estável. Já a ligação éter é formada quando o grupo reativo se liga diretamente à hidroxila da celulose por meio de uma ligação entre dois grupos alcoólicos, conferindo alta resistência química e durabilidade ao tingimento. Essas ligações químicas garantem a fixação permanente do corante na fibra (Juliano; Pacheco, [s.d.]).

Figura 5 – Esquema de ligação covalente do corante reativo com a hidroxila da fibra



Fonte: Elaborada pelos autores

No processo *pad-batch*, após a impregnação com o banho de tingimento, o tecido é armazenado em rolos sob condições controladas de temperatura, movimento e umidade. Durante esse tempo de repouso, ocorre a difusão do corante para o interior da fibra, seguida pela reação de fixação. Esse repouso é essencial para garantir que o corante penetre adequadamente e reaja com a celulose em profundidade, não apenas na superfície do fio.

A eficiência da fixação depende de fatores como o tipo de grupo reativo, o pH do meio (em geral entre 10,5 e 11,5), a temperatura (normalmente entre 20 °C e

30 °C no *pad-batch*), e o tempo de repouso, que pode variar de 6 a 24 horas dependendo do corante e das condições do processo (CETIQT, 2010).

Dessa forma, compreender os mecanismos de fixação dos corantes reativos é fundamental para otimizar o tingimento, garantindo não apenas maior desempenho técnico do produto final, mas também reduzindo a necessidade de retrabalho e uso excessivo de recursos.

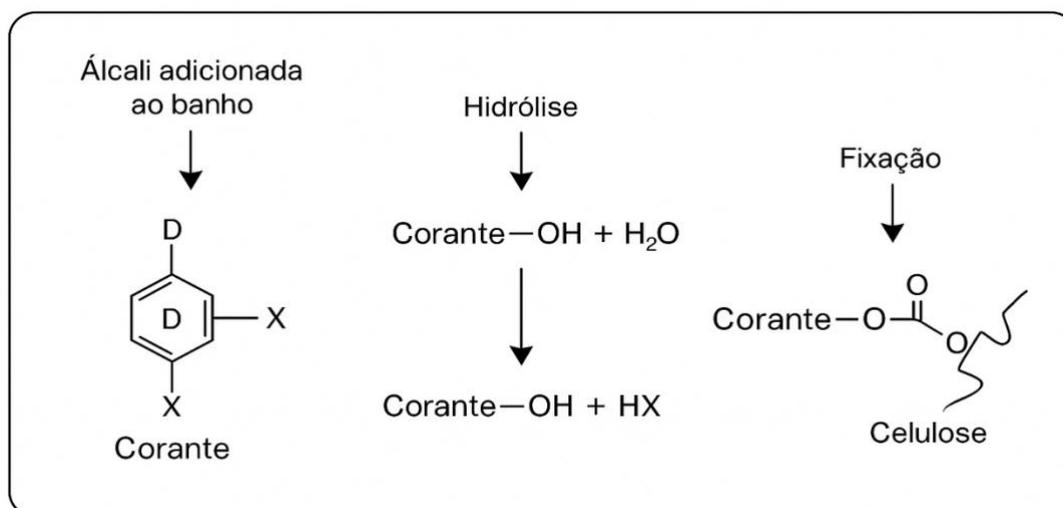
4 PROBLEMÁTICA DA HIDRÓLISE NO TINGIMENTO REATIVO

O tingimento com corantes reativos oferece excelente solidez e durabilidade devido à formação de ligações covalentes entre o corante e a fibra têxtil. No entanto, o processo está sujeito a uma reação indesejada conhecida como hidrólise, que compromete a eficiência da fixação do corante, além de gerar perdas econômicas e ambientais. Esta seção aborda como ocorre essa reação, seus impactos e as medidas que podem ser adotadas para preveni-la.

4.1 Reação da Hidrólise nos Corantes

A hidrólise é uma reação paralela indesejada que ocorre no banho de tingimento reativo após a adição do álcali (como carbonato ou hidróxido de sódio). Quando o corante reativo é dissolvido em meio alcalino, ele se torna altamente reativo, tanto com os grupos hidroxila da celulose (o que é desejado) quanto com a própria água (o que é indesejado) (Salim; de Marchi; Menezes, 2005).

Figura 6 – Esquema da hidrólise e ligação covalente com a fibra



Fonte: Elaborada pelos autores

1º Adição do álcali ao banho: essa etapa inicia a ativação do grupo reativo do corante quanto da própria fibra.

2º Hidrólise do corante: em contato de água mais álcali, o grupo reativo do corante pode reagir com a água ao invés da fibra, formando um corante-OH (forma hidrolisada) que não pode mais se fixar à celulose. Com isso ocorrendo um subproduto ácido (HX, como HCl) é liberado. Então o corante hidrolisado perde sua reatividade química com a fibra, permanecendo solúvel e sendo removido durante as lavagens

3º Fixação com a celulose: Na via desejada do processo, o grupo reativo do corante forma uma ligação covalente com uma hidroxila da celulose, isso resulta na fixação do corante na fibra, garantindo resistência à lavagem e boa solidez da cor. A estrutura final mostra a ligação éster ou éter entre o corante e a celulose, representando uma ligação estável.

Tabela 1 – Resumo das duas reações concorrentes

Reação	Produto Final	Consequência
Hidrólise	Corante-OH (inativo)	Cor removida nas lavagens subsequentes (desperdício)
Fixação	Corante-Celulose (ligação covalente)	Cor resistente, alto rendimento, etc.

Fonte: Elaborada pelos autores

4.2 Impactos da Hidrólise na Qualidade e Desempenho do Tingimento

A hidrólise do corante reativo afeta diretamente a eficiência do processo e a qualidade do produto final. Seus principais impactos incluem:

- Baixa fixação do corante: como parte do corante foi hidrolisado, ele não se liga à fibra e é removido nas lavagens, resultando em cores apagadas ou baixa intensidade tonal.
- Desuniformidade de cor: em processos contínuos, o tempo de uso prolongado do banho pode gerar resultados diferentes entre os primeiros e os últimos tecidos tingidos.

- Aumento do consumo de água e energia: a necessidade de múltiplas lavagens para remover o corante hidrolisado exige maior gasto de recursos naturais.
- Impacto ambiental: o corante que não se fixa à fibra é eliminado nos efluentes, aumentando a carga poluente e os custos de tratamento da água.
- Desperdício de insumos: álcali e corantes são parcialmente desperdiçados, elevando o custo de produção.

4.3 Medidas Preventivas

Para reduzir os efeitos da hidrólise e garantir um tingimento eficiente e sustentável, algumas boas práticas e medidas técnicas devem ser adotadas:

- Uso imediato do banho de tingimento: após a adição do álcali, o banho deve ser utilizado o quanto antes. Quanto mais tempo o banho permanecer sem uso, maior a hidrólise.
- Preparação em pequenas quantidades: se possível, preparar porções menores do banho e reabastecer conforme a necessidade reduz a permanência do corante em meio alcalino.
- Controle de pH e temperatura: manter o banho com pH e temperatura ideais para favorecer a reação com a fibra e desacelerar a hidrólise.
- Monitoramento do tempo de estocagem do banho: estabelecer tempo máximo de uso do banho após sua preparação, evitando o uso de banhos com corante já degradado.
- Treinamento da equipe técnica: operadores treinados conseguem reagir mais rapidamente e manter o processo sob controle.
- Utilização de corantes de maior estabilidade hidrolítica: alguns corantes possuem estruturas químicas mais resistentes à hidrólise e são preferíveis para processos contínuos mais longos.

A aplicação dessas medidas garante maior rendimento do corante, melhor qualidade de cor e menor impacto ambiental, sendo essenciais para a sustentabilidade do processo *pad-batch*.

5 ESTUDO DE CASO: AVALIAÇÃO DA HIDRÓLISE

5.1 Objetivo do Estudo

O estudo teve como objetivo avaliar o comportamento da hidrólise do corante reativo ao longo do tempo, simulando em laboratório o processo de tingimento semi-contínuo (*pad-batch*). Através da realização de diversos tingimentos com um mesmo banho preparado, aplicados em diferentes intervalos de tempo, buscou-se compreender a curvatura da reação de hidrólise e seus impactos diretos na eficiência de fixação da cor ao tecido de algodão.

Para isso, foram elaboradas duas formulações distintas de tingimento: uma contendo apenas corante reativo azul (6 g/L) e outra com uma composição para obtenção de tonalidade cinza, utilizando a combinação de três corantes reativos (2,5 g/L de azul, 2,5 g/L de amarelo e 1,0 g/L de vermelho). A comparação entre essas duas abordagens possibilitou a observação do desempenho isolado de um corante sensível à hidrólise e da resposta conjunta de uma receita multicomponente, mais próxima da realidade fabril.

Este experimento permitiu quantificar a perda de capacidade de fixação do corante em função do tempo de repouso do banho ativado com álcali, simulando com precisão o que ocorre em linhas de produção onde o banho pode ser utilizado por várias horas. A análise dos resultados fornece dados importantes para otimização do processo de tingimento reativo, tanto em laboratório quanto em escala industrial, contribuindo para a redução de desperdícios, melhoria da qualidade e aumento da sustentabilidade do processo têxtil.

5.2 Materiais e Métodos

5.2.1 Materiais Físicos e Produtos Químicos Utilizados

Materiais Físicos

- Balança de precisão — para a pesagem exata do corante e dos auxiliares químicos.
- Becker e bastão de vidro — para preparo inicial das soluções e misturas manuais.

- Jarra — utilizada para transporte e armazenamento do banho de tingimento.
- Batedor elétrico — para garantir a dissolução completa e homogênea do corante na água.
- Foulard de impregnação laboratorial — equipamento fundamental para impregnar o tecido, controlando o *pick-up* em 70%.
- Filme plástico (PVC) — utilizado para envolver o tecido após a impregnação, evitando perda de umidade durante o período de reação do corante com a fibra.
- Caixa plástica com tampa — utilizada para armazenar as amostras envolvidas em plástico durante o período de fixação, simulando condições controladas de umidade e temperatura.
- Ferro de passar — utilizado para o processo de secagem das amostras após a lavagem, padronizando o acabamento dos tecidos para análise posterior.

Materiais Químicos

- Corante reativo — responsável pela coloração do tecido de algodão.
- Soda (NaOH) — utilizada como álcali para ativar as hidroxilas da celulose, promovendo a reação de fixação do corante.
- Umectante têxtil — auxilia na penetração uniforme do banho no tecido, reduzindo a tensão superficial.
- Microemulsão de silicato — atua como estabilizante do banho, auxiliando na dispersão e estabilidade do sistema durante o processo.
- Anti-espuma — evita a formação de espuma excessiva no banho, garantindo melhor controle do processo e evitando defeitos no tecido.
- Detergente — elimina corantes não fixados.

5.2.2 Metodologia do Experimento

Preparo do Banho de Tingimento

- Realizou-se a pesagem do corante reativo na concentração adequada (6 g/L), juntamente com os auxiliares necessários.

- O corante foi dissolvido com auxílio do batedor elétrico, garantindo total homogeneização da solução.
- Posteriormente, foi adicionada a soda (NaOH), ativando o banho para que o corante pudesse reagir com a celulose da fibra.

Impregnação do Tecido

- O tecido de algodão foi passado pelo foulard de laboratório, configurado para manter um *pick-up* de 70%, assegurando uma impregnação uniforme.

Procedimento dos tingimentos em diferentes tempos

- Após a preparação do banho, foram realizadas seis impregnações utilizando exatamente o mesmo banho, nos seguintes intervalos de tempo:
 - Tingimento imediato (tempo zero)
 - Após 1 hora e 30 minutos
 - Após 3 horas
 - Após 6 horas
 - Após 12 horas
 - Após 24 horas
- Após cada etapa de impregnação, os tecidos foram imediatamente envolvidos em filme plástico para evitar a perda de umidade, e então armazenados em uma caixa plástica fechada.
- Todos os tecidos permaneceram armazenados por um período fixo de 16 horas, permitindo a reação de fixação do corante com a fibra de algodão.

Lavagem pós-reação

- As amostras foram submetidas a um processo de lavagem padrão:
 - Lavagem fria inicial para remoção do excesso superficial.
 - Lavagem quente com detergente para eliminação dos corantes não fixados (hidrolisados).
 - Enxágue final com água fria.

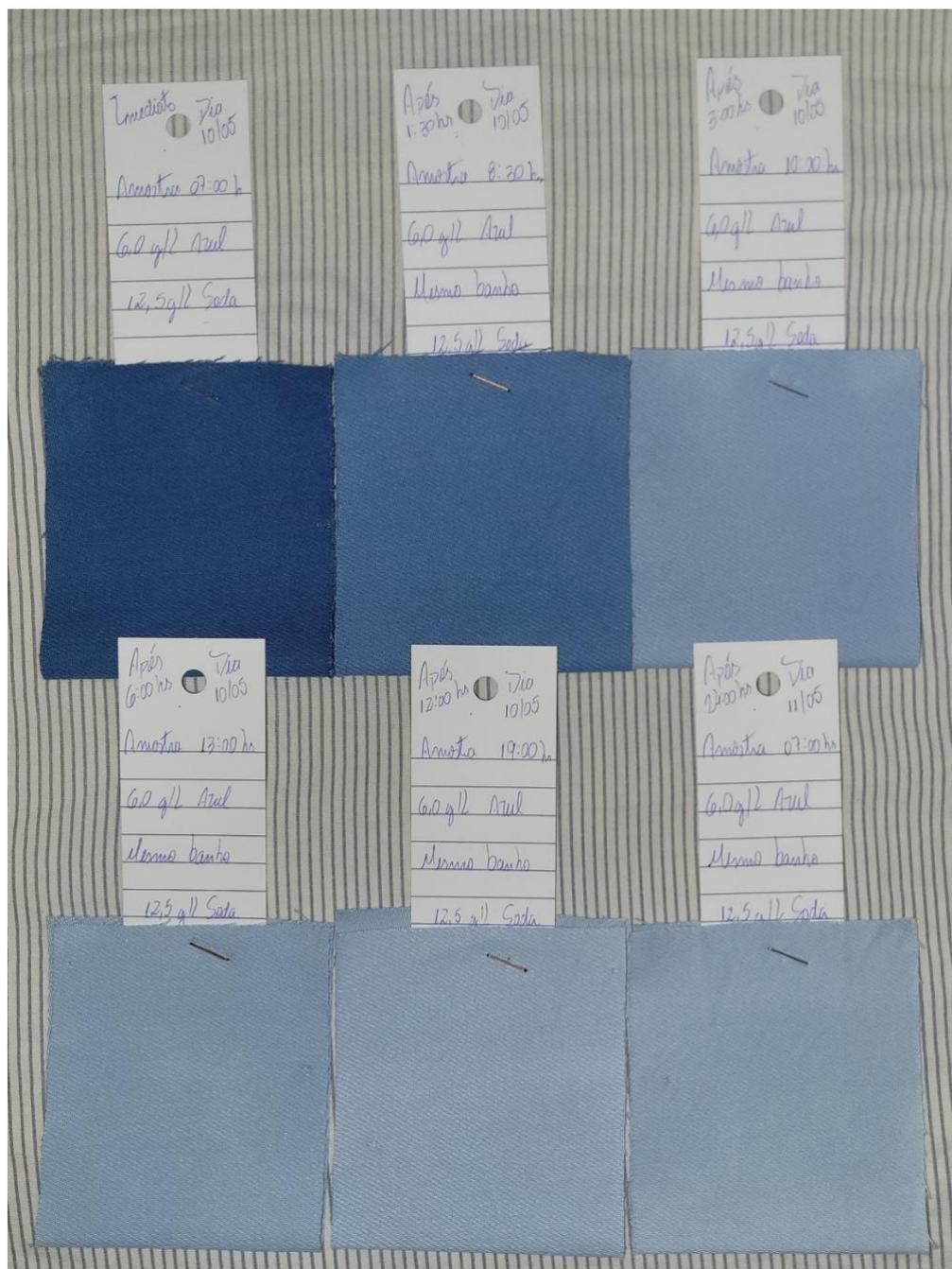
Secagem das Amostras

- Após a lavagem, todas as amostras foram secas utilizando um ferro de passar doméstico, garantindo uniformidade no acabamento para melhor análise visual e técnica dos resultados.

5.3 Resultados e Discussões

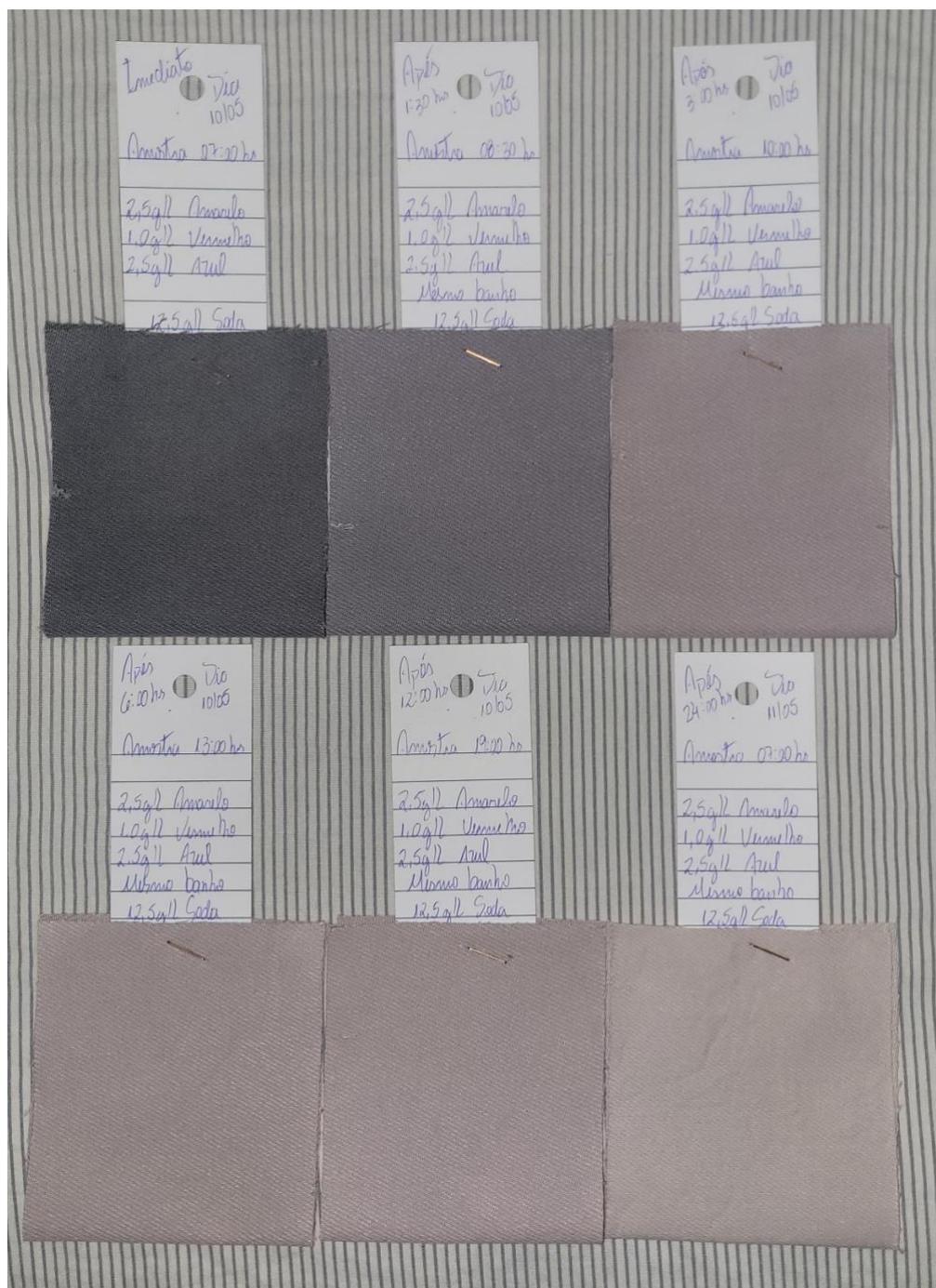
Os resultados obtidos evidenciam uma clara tendência de perda de intensidade de cor à medida que o tempo de repouso do banho aumentava.

Figura 7 – Teste de hidrólise da cor azul



Fonte: Elaborada pelos autores

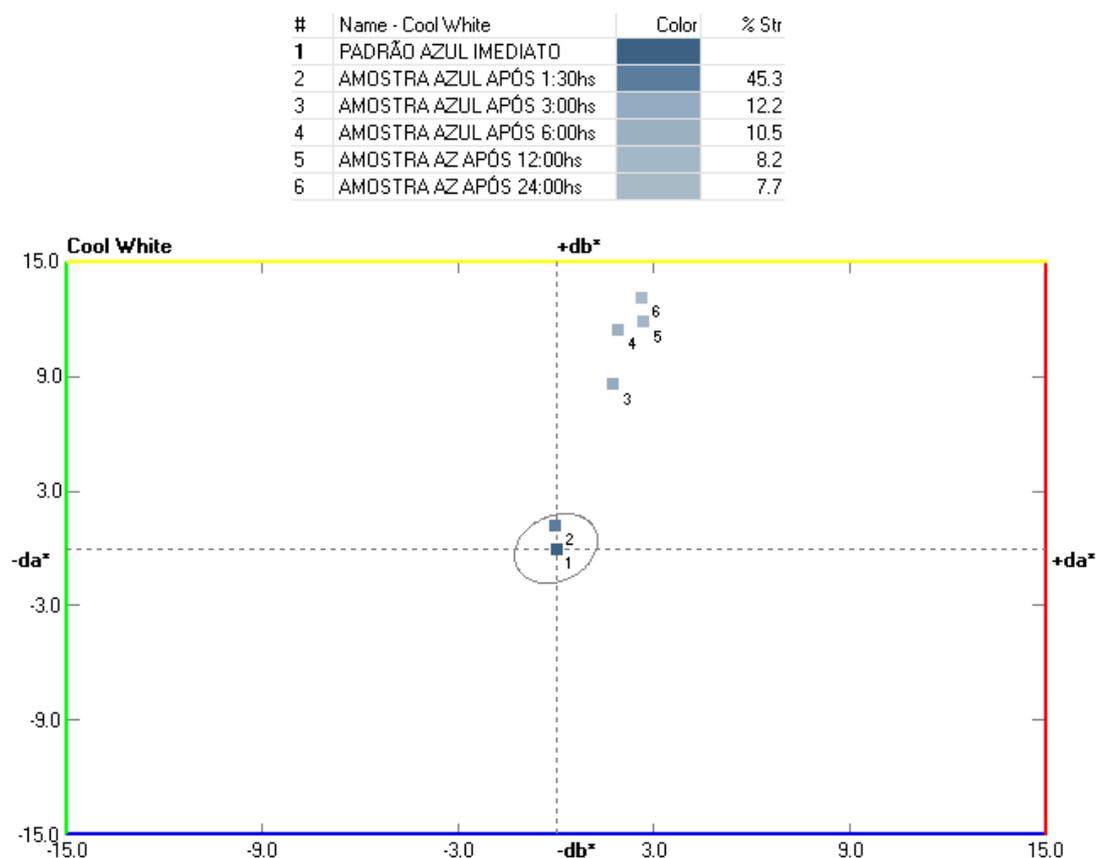
Figura 8 – Teste de hidrólise da cor cinza



Fonte: Elaborada pelos autores

E através dessas amostras, para evidenciar ainda mais o resultado dos testes realizados, foram feitas leituras no espectrofotômetro para mais vigor na avaliação dos tingimentos.

Figura 9 – Variação no espectrofotômetro da cor azul com o tempo de repouso



Fonte: Imagem de resultado gerado pelo espectrofotômetro

Tabela 2 – Amostra Azul (Corante Isolado)

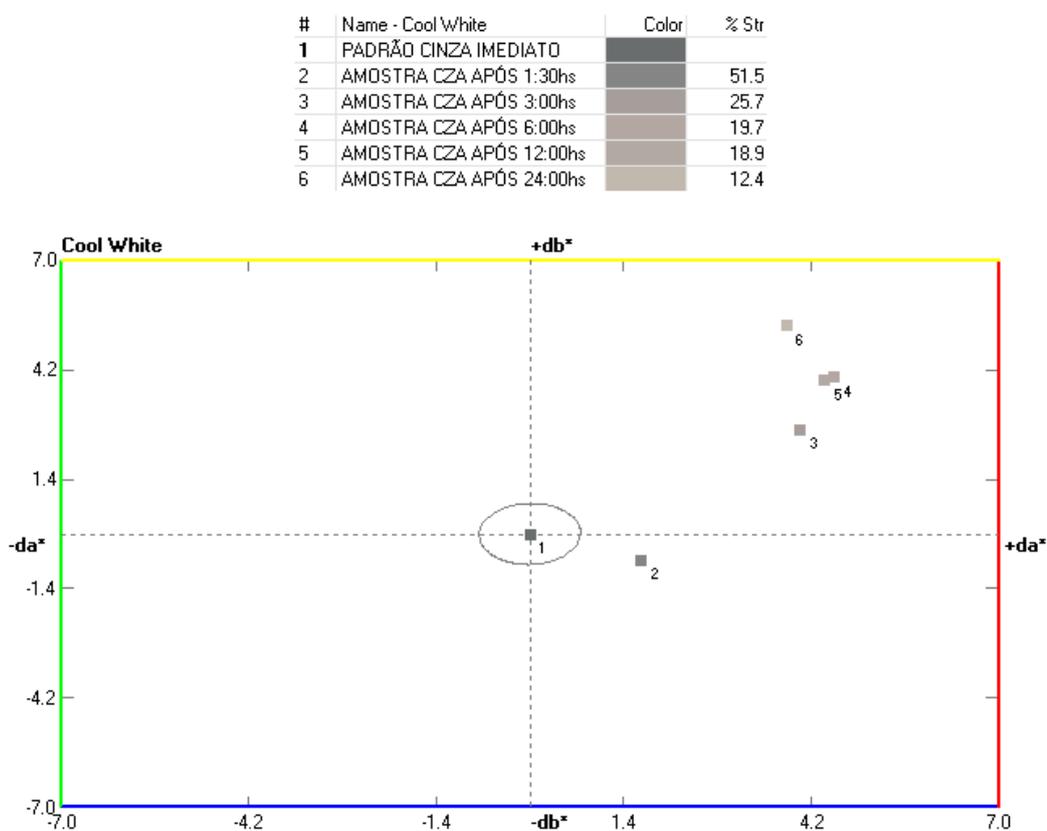
Tempo de Imersão	Intensidade de Cor (%)	Aspecto Visual
Imediata	100%	Visualmente, esta amostra apresenta o azul mais intenso, como esperado, visto que o banho foi utilizado imediatamente após sua preparação.
1h30	45,3%	Apresenta uma cor azul ainda perceptível e relativamente forte, mas já com perda considerável de intensidade em comparação ao padrão.
3h00	12,2%	Visualmente, já se percebe um azul bem mais claro e desbotado.
6h00	10,5%	O tom azul está ainda mais pálido e enfraquecido.

12h00	8,2%	A cor se torna visualmente muito fraca, com pouca presença do azul original.
24h00	7,7%	Apresenta o tom mais desbotado de todas, com azul extremamente diluído visualmente.

Fonte: Elaborada pelos autores

A cor azul apresentou queda acentuada de fixação já a partir de 1h30 após o preparo do banho. A partir de 3 horas, a perda de intensidade foi quase total, demonstrando que o corante azul em solução alcalina possui baixa estabilidade hidrolítica. A degradação rápida compromete seriamente sua eficácia, o que pode levar a desperdício de insumos e perda de padrão de cor em ambientes industriais, caso o tempo de uso do banho não seja rigidamente controlado.

Figura 10 – Variação no espectrofotômetro da cor cinza com o tempo de repouso



Fonte: Imagem de resultado gerado pelo espectrofotômetro

Tabela 3 – Amostra Cinza (Mistura de Corantes)

Tempo de Imersão	Intensidade de Cor (%)	Aspecto Visual
Imediata	100%	Ponto de referência inicial, representa a cor original do tecido após tingimento imediato.
1h30	51,5%	Ainda “bastante” intensa, com leve deslocamento para a região negativa de b (tendência azulada) e negativa de a (esverdeada).
3h00	25,7%	Visivelmente mais clara, a perda de intensidade destaca um leve tom avermelhado e amarelado, indicando que os corantes vermelho e amarelo começam a predominar.
6h00	19,7%	A predominância dos corantes vermelho e amarelo é mais visível agora, apesar da menor intensidade geral da cor.
12h00	18,9%	Aqui, o vermelho e amarelo se torna predominante visualmente. O clareamento facilita a percepção do residual dessas corantes, enquanto o azul aparenta ter se perdido mais significativamente.
24h00	12,4%	Apesar da baixa intensidade, o resíduo visível tende fortemente para tons quentes, indicando que o vermelho e amarelo foram os corantes mais resistentes à lavagem ou exposição.

Fonte: Elaborada pelos autores

A amostra com tonalidade cinza mostrou melhor desempenho em termos de retenção da cor ao longo do tempo, pois pela visualização a olho nu já percebemos que o corante vermelho e amarelo possui uma estabilidade hidrolítica maior em comparação ao azul e amarelo, posteriormente comprovada pelo espectrofotômetro. Mesmo com redução progressiva da intensidade, o comportamento foi mais estável, e mesmo após 24 horas de repouso do banho, a intensidade residual ainda foi considerável.

Isso se deve ao perfil de reatividade e estabilidade química diferenciada dos corantes amarelo e vermelho, que possivelmente apresentam menor taxa de hidrólise comparado ao azul, porém ainda com resultados muito abaixo do padrão. A presença desses corantes mais estáveis na composição ajudou a retardar a perda de eficácia do banho, mas com uma significância muito baixa em relação a cor inicial.

5.4 Conclusões do Estudo de Caso

A partir dos experimentos realizados, foi possível concluir que:

- A estabilidade dos corantes reativos no banho alcalino é limitada, especialmente no caso do corante azul isolado. A reatividade desejada para fixação com a celulose é rapidamente substituída pela reação de hidrólise com a água, reduzindo drasticamente a eficiência do tingimento.
- A mistura de corantes reativos (azul, amarelo e vermelho) demonstrou melhor desempenho ao longo do tempo, com maior retenção da cor mesmo após longos períodos de repouso do banho, porém distante de se considerável próxima a cor inicial.
- O uso imediato do banho de tingimento continua sendo a prática recomendada para obter o máximo de fixação e garantir reprodutibilidade nos tons, principalmente em receitas com corantes mais sensíveis à hidrólise.
- A manipulação consciente do tempo de uso dos banhos reativos é essencial na rotina de laboratório e produção têxtil. Estratégias como ajuste de pH, adição de estabilizantes ou reformulação da receita podem ser consideradas para ampliar a janela de uso do banho, quando necessário.
- Para contextos industriais que demandam maior tempo de aplicação, sistemas de preparação fracionada ou reformulação da receita com corantes mais estáveis devem ser analisados, visando garantir qualidade, reduzir retrabalho e minimizar impactos ambientais e econômicos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Conclusões

O presente trabalho abordou o processo de tingimento reativo semi-contínuo pelo método *pad-batch*, enfatizando a problemática da hidrólise dos corantes reativos em meio alcalino e seus impactos na eficiência do processo e na sustentabilidade da produção têxtil. A partir da fundamentação teórica e do estudo de caso prático, foi possível verificar que a hidrólise representa uma das principais limitações técnicas desse método, reduzindo a fixação do corante à fibra e gerando perdas significativas de insumos e qualidade.

O controle do tempo entre a preparação e a aplicação do banho de tingimento, bem como a regulação precisa do *pick-up*, mostraram-se fatores críticos para o sucesso do processo. Os resultados experimentais comprovaram que a utilização imediata do banho após a adição do álcali é essencial para garantir a máxima fixação do corante e a uniformidade da cor.

Além disso, a análise comparativa entre um corante isolado (azul) e uma mistura multicomponente (cinza) evidenciou que a escolha dos corantes com maior estabilidade hidrolítica pode contribuir para uma maior flexibilidade operacional, embora ainda não elimine os efeitos da hidrólise de forma definitiva.

Dessa forma, o trabalho reforça a importância de práticas rigorosas de controle de processo, planejamento técnico e conhecimento químico dos corantes utilizados como estratégias para garantir eficiência, qualidade e sustentabilidade no tingimento *pad-batch*.

6.2 Sugestões para Trabalhos Futuros

Para a continuidade dos estudos nesta área, recomenda-se:

- Análise da estabilidade hidrolítica de diferentes classes de corantes reativos, com foco em identificar alternativas mais resistentes à hidrólise e com menor impacto ambiental.

- Estudo da aplicação de aditivos estabilizantes no banho de tingimento, visando prolongar o tempo útil do banho sem comprometer a eficiência de fixação.
- Implementação de sensores e sistemas de monitoramento em tempo real para controle automático do pH, temperatura e tempo de uso do banho, otimizando a tomada de decisões em tempo de processo.
- Avaliação do reaproveitamento de banhos parcialmente hidrolisados, com o uso de correções químicas ou redirecionamento para tingimentos secundários ou menos exigentes.
- Estudo do impacto ambiental do corante hidrolisado presente nos efluentes, propondo estratégias de tratamento específicas para sua degradação ou reaproveitamento.

Esses trabalhos futuros poderão contribuir para o avanço do conhecimento técnico-científico e para a melhoria contínua dos processos têxteis, alinhando desempenho industrial e responsabilidade ambiental.

REFERÊNCIAS

ABTT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TÉCNICOS TÊXTEIS. Manual de Corantes e Tingimentos. São Paulo: ABTT, 2011.

CETIQT – CENTRO DE TECNOLOGIA DA INDÚSTRIA QUÍMICA E TÊXTIL. Manual de Tingimento de Corantes Reativos. Rio de Janeiro: SENAI/CETIQT, 2010.

FERREIRA, J. L. Processos de tingimento na indústria têxtil. 3. ed. Blumenau: FURB, 2012.

JULIANO, Luciane Nóbrega; PACHECO, Sabrina Moro Villela. Apostila de Estamparia e Beneficiamento Têxtil. Araranguá: Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina – Unidade de Ensino de Araranguá, [s.d.].

PEREIRA, Gislaine de Souza. Introdução à tecnologia têxtil: Curso Têxtil em Malharia e Confecção – Módulo 2. Araranguá: CEFET/SC – Unidade de Ensino de Araranguá, Ministério da Educação – Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica, [s.d.].

SALIM, V.; DE MARCHI, L.; MENEZES, A. Tingimento de fibras celulósicas com corantes reativos, por esgotamento a quente. Apostila Vol. 1 e Vol. 2, 2005.