

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

NÁTALY GABRIELLY SIQUEIRA ALVES

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS DE PROCESSO NA
CAPILARIDADE E ÍNDICE DE BRANCURA OBTIDOS POR DESENGOMAGEM
ENZIMÁTICA E OXIDATIVA EM TECIDO 100% ALGODÃO**

APUCARANA

2023

NÁTALY GABRIELLY SIQUEIRA ALVES

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS DE PROCESSO NA
CAPILARIDADE E ÍNDICE DE BRANCURA OBTIDOS POR DESENGOMAGEM
ENZIMÁTICA E OXIDATIVA EM TECIDO 100% ALGODÃO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Têxtil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Dayane Samara de Carvalho Coltre.
Coorientador(a): Fabrício Maestá Bezerra.

APUCARANA

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



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



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso:

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS DE PROCESSO NA CAPILARIDADE E ÍNDICE DE BRANCURA OBTIDOS POR DESENGOMAGEM ENZIMÁTICA E OXIDATIVA EM TECIDO 100% ALGODÃO

Por

NÁTALY GABRIELLY SIQUEIRA ALVES

Monografia apresentada às 14:30 horas do dia 16 de junho de 2023, como requisito parcial, para conclusão do Curso de Engenharia Têxtil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Apucarana. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerado(a) **APROVADO(A)**.

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

PROFESSOR(A) FABRÍCIO MAESTÁ BEZERRA – COORIENTADOR(A)

PROFESSOR(A) FÁBIO ALEXANDRE PEREIRA SCHACCHETTI – EXAMINADOR(A)

PROFESSOR(A) SAMIRA DA SILVA MENDES – EXAMINADOR(A)

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

Dedico este trabalho à minha família, pelos
momentos de ausência.

“Por isso não tema, pois estou com você;
Não tenha medo, pois sou o seu Deus.
Eu o fortalecerei e o ajudarei;
Eu o segurarei com a minha mão direita vitoriosa”.
(Isaías 41:10).

RESUMO

O beneficiamento primário têxtil consiste em uma série de operações que tem a finalidade de preparar o substrato têxtil para os processos subsequentes. Uma dessas operações é a desengomagem, cujo objetivo é a eliminação da goma que foi aplicada na etapa de preparação à tecelagem. Dentre os tipos de desengomagem, os mais utilizados são a desengomagem enzimática e a oxidativa, por meio de enzimas e agentes oxidantes, respectivamente. A primeira elimina a goma de forma seletiva no material, não degradando a fibra. Já a segunda, de maneira simultânea com os processos de purga e alvejamento, oxida e elimina a goma, além de saponificar os materiais graxos e oxidar os pigmentos naturais da fibra. Deste modo, o presente trabalho teve o objetivo de analisar a influência de parâmetros pré-definidos na capilaridade e índice de brancura dos processos citados, utilizando planejamento fatorial. Realizou-se estatisticamente uma comparação das médias dos resultados obtidos da capilaridade de cada processo e, uma análise colorimétrica após o processo de tingimento no melhor resultado obtido de capilaridade de cada um dos processos. Dentre os fatores apresentados, para a capilaridade o tempo de processo foi a variável que apresentou maior influência na desengomagem enzimática e, a concentração de hidróxido de sódio e o tempo de processo na desengomagem oxidativa. Para o índice de brancura, a concentração de peróxido de hidrogênio e o tempo de processo foram as variáveis que apresentaram maior influência na desengomagem oxidativa. Além disso, a desengomagem enzimática seguida de purga e alvejamento demonstrou vantagens em comparação ao processo oxidativo, pois apresentou melhores resultados na análise colorimétrica após o processo de tingimento.

Palavras-chave: desengomagem; enzimática; oxidativa.

ABSTRACT

The primary textile processing consists of a series of operations that have the purpose of preparing the textile substrate for the subsequent processes. One of these operations is the desizing, whose objective is the elimination of the starch that was applied in the weaving preparation stage. Among the types of desizing, the most commonly used are enzymatic and oxidative desizing, using enzymes and oxidizing agents, respectively. The first selectively eliminates the starch in the material, not degrading the fiber. The second process, simultaneously with the purging and bleaching processes, oxidizes and eliminates the gum, besides saponifying the fatty materials and oxidizing the natural pigments of the fiber. In this way, the present work had the objective of analyzing the influence of pre-defined parameters on the capillarity and whiteness index of the processes cited, using factorial planning. A statistical comparison of the averages of the results obtained from the capillarity of each process and a colorimetric analysis was performed after the dyeing process in the best result obtained from the capillarity of each process. Among the factors presented, for capillarity the process time was the variable that presented the greatest influence in enzymatic desizing and the sodium hydroxide concentration and process time in oxidative desizing. For the whiteness index, the hydrogen peroxide concentration and the process time were the variables that showed greater influence in oxidative desizing. Furthermore, the enzymatic degumming followed by purging and bleaching showed advantages in comparison to the oxidative process, because it presented better results in the colorimetric analysis after the dyeing process.

Keywords: desizing; enzymatic; oxidative.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Cadeia produtiva têxtil	15
Figura 2: Classificação das fibras têxteis	16
Figura 3: Estrutura molecular da celulose	16
Figura 4: Escala Tegewa.....	19
Figura 5: Modelo chave-fechadura	21
Figura 6: Gráfico de processo experimental de desengomagem enzimática	25
Figura 7: Gráfico de processo experimental de desengomagem oxidativa	26
Figura 8: Análise da capilaridade	28
Figura 9: Gráfico de processo experimental de tingimento	30
Figura 10: Gráfico de probabilidade normal dos efeitos em relação a capilaridade do processo enzimático.....	34
Figura 11: Gráfico de superfície dos fatores concentração de enzima e temperatura em relação a capilaridade no processo enzimático	36
Figura 12: Gráfico de superfície dos fatores tempo e temperatura em relação a capilaridade no processo enzimático.....	37
Figura 13: Gráfico de probabilidade normal dos efeitos em relação a capilaridade do processo oxidativo	40
Figura 14: Gráfico de superfície dos fatores concentração de H ₂ O ₂ e concentração de NaOH em relação a capilaridade no processo oxidativo.....	41
Figura 15: Gráfico de superfície dos fatores concentração de NaOH e tempo em relação a capilaridade no processo oxidativo	42
Figura 16: Gráfico de probabilidade normal dos efeitos em relação ao índice de brancura do processo oxidativo	45
Figura 17: Gráfico de superfície dos fatores concentração de H ₂ O ₂ e concentração de NaOH em relação ao índice de brancura no processo oxidativo.....	46
Figura 18: Gráfico de superfície dos fatores concentração de H ₂ O ₂ e tempo em relação ao índice de brancura no processo oxidativo	47
Figura 19: Gráfico de superfície dos fatores concentração de NaOH e tempo em relação ao índice de brancura no processo oxidativo	48
Quadro 1: Processos do beneficiamento primário	18
Quadro 2: Gomas utilizadas em cada fibra	19

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características do tecido plano.....	24
Tabela 2: Planejamento fatorial para desengomagem enzimática.....	27
Tabela 3: Planejamento fatorial para desengomagem oxidativa	27
Tabela 4: Resultados obtidos da capilaridade no processo enzimático	32
Tabela 5: Efeito e percentual de contribuição para a capilaridade no processo enzimático.....	33
Tabela 6: Nível de significância dos parâmetros na capilaridade pela ANOVA no processo enzimático	35
Tabela 7: Resultados obtidos da capilaridade no processo oxidativo.....	38
Tabela 8: Efeito e percentual de contribuição para a capilaridade no processo oxidativo.....	39
Tabela 9: Nível de significância dos parâmetros na capilaridade pela ANOVA no processo oxidativo.....	40
Tabela 10: Resultados obtidos do índice de brancura no processo oxidativo..	43
Tabela 11: Efeito e percentual de contribuição para o índice de brancura no processo oxidativo.....	44
Tabela 12: Nível de significância dos parâmetros no grau de alvura pela ANOVA no processo oxidativo	45
Tabela 13: Resultados obtidos pelo teste de Tukey da desengomagem enzimática	49
Tabela 14: Resultados obtidos pelo teste de Tukey da desengomagem oxidativa.....	50
Tabela 15: Resultados obtidos por meio da análise colorimétrica.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIT	Associação Brasileira da Indústria Têxtil e Confecção
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
JIS	Japanese Industrial Standart
NBR	Normas Brasileiras
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

H_2O_2	Peróxido de Hidrogênio
NaOH	Hidróxido de Sódio
pH	Escala numérica adimensional de medição de acidez ou basicidade

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Justificativa.....	11
1.2	Objetivos	12
1.2.1	Objetivo geral	12
1.2.2	Objetivos específicos.....	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	Indústria Têxtil	14
2.1.1	Fibras	15
2.2	Beneficiamento têxtil	17
2.3	Desengomagem.....	18
2.3.1	Desengomagem enzimática	20
2.3.2	Desengomagem oxidativa	22
3	METODOLOGIA	24
3.1	Materiais	24
3.2	Desengomagem.....	24
3.3	Análise da capilaridade.....	27
3.4	Análise do índice de brancura.....	28
3.5	Teste estatístico para comparação de médias	28
3.6	Análise colorimétrica	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
4.1	Planejamento fatorial para desengomagem enzimática	32
4.1.1	Análise de capilaridade	32
4.2	Planejamento fatorial para desengomagem oxidativa	37
4.2.1	Análise de capilaridade	37
4.2.2	Análise do índice de brancura	43
4.3	Teste estatístico para comparação de médias	49
4.4	Análise colorimétrica	51
5	CONCLUSÃO	53
	REFERÊNCIAS.....	54

1 INTRODUÇÃO

A indústria têxtil é a segunda maior empregadora de serviços da indústria de transformação no país, ficando atrás apenas para o conjunto de segmento de alimentos e bebidas. O Brasil possui a maior Cadeia Têxtil completa do Ocidente, com início na produção de fibras até o desfile de moda, percorrendo pelos processos de fiações, tecelagens, malharias, beneficiadoras e confecções dos produtos finais (ABIT, 2022).

Dentre os processos da indústria têxtil, o processo de beneficiamento visa melhorar as propriedades físico-químicas dos substratos têxteis sendo dividido em beneficiamento primário, secundário e terciário (SENAI, 2015). A desengomagem é uma etapa do beneficiamento primário têxtil, cujos produtos químicos mais utilizados na desengomagem são as enzimas e o peróxido de hidrogênio (MOJSOV, 2018; LIMA, 2022).

No processo enzimático ocorre a eliminação da goma através da enzima, não degradando a fibra, pois a mesma atua de forma seletiva no substrato, obtendo um material mais uniforme (MEDEIROS et al., 2013). Já o processo oxidativo, apresenta rápida ação de degradação da goma, que de forma simultânea tende a realizar a desengomagem, a purga e o alvejamento, favorecendo a variável tempo de processo (LOBO et al., 2014).

Deste modo, este trabalho visa analisar parâmetros pré-definidos da desengomagem enzimática e oxidativa de um tecido 100% algodão, verificando a influência de cada parâmetro na capilaridade e índice de brancura, por meio de um planejamento fatorial.

1.1 Justificativa

O processo de desengomagem é uma importante etapa do beneficiamento primário têxtil que tem como finalidade a retirada da goma aplicada antes do processo de tecelagem, para aprimorar a hidrofiliabilidade do substrato têxtil. Dentre os processos de desengomagem, os mais utilizados são a desengomagem enzimática e a desengomagem oxidativa (MOJSOV, 2018; LIMA, 2022).

Além do apelo ambiental, gerando menos resíduos, pois as enzimas são biodegradáveis, uma das principais vantagens do processo enzimático é sua alta

capacidade na seletividade do produto, não degradando a fibra, sendo relevante para a obtenção de produtos de maior uniformidade. Porém, neste processo não ocorre o alveamento simultâneo, sendo necessária a realização desta etapa posteriormente.

Por sua vez, a desengomagem oxidativa consiste na realização da desengomagem em conjunto com as etapas de purga e alveamento, sendo importante quando se deseja reduzir o tempo de processo. Todavia, existe a possibilidade de degradação do material têxtil, pois o peróxido de hidrogênio utilizado para oxidar a goma e eliminá-la, além de oxidar os pigmentos naturais da fibra, pode oxidar a fibra de algodão, reduzindo sua resistência.

Portanto, é importante realizar uma análise de parâmetros pré-definidos para os processos de desengomagem enzimática e oxidativa, a fim de se obter tecidos que apresentem uma boa capilaridade, além de analisar se cada um desses processos pode influenciar na cor obtida após o processo de tingimento.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Analisar parâmetros pré-definidos para processos de desengomagem enzimática e oxidativa, verificando a influência dos mesmos na capilaridade e índice de brancura, por meio de planejamento fatorial.

1.2.2 Objetivos específicos

Com o propósito de se alcançar o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram traçados:

- Realizar desengomagem enzimática em tecido 100% algodão engomado, variando os parâmetros de temperatura, tempo e concentração de enzimas no processo de acordo com planejamento fatorial 2³.
- Realizar desengomagem oxidativa em tecido 100% algodão engomado, variando os parâmetros de concentração de peróxido de hidrogênio, concentração de hidróxido de sódio e tempo no processo de acordo com planejamento fatorial 2³.

- Analisar a hidrofiliidade por meio de ensaios de capilaridade dos tecidos obtidos, a fim de verificar a influência de cada parâmetro nos processos de desengomagem enzimática e oxidativa.
- Analisar o índice de brancura dos tecidos obtidos por meio do processo oxidativo, a fim de verificar a influência de cada parâmetro no processo de desengomagem oxidativa.
- Realizar teste estatístico de comparação de médias dos resultados obtidos da capilaridade nos processos de desengomagem enzimática e oxidativa.
- Realizar uma análise colorimétrica após o tingimento nos tecidos que apresentarem melhores condições de capilaridade nos processos de desengomagem.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

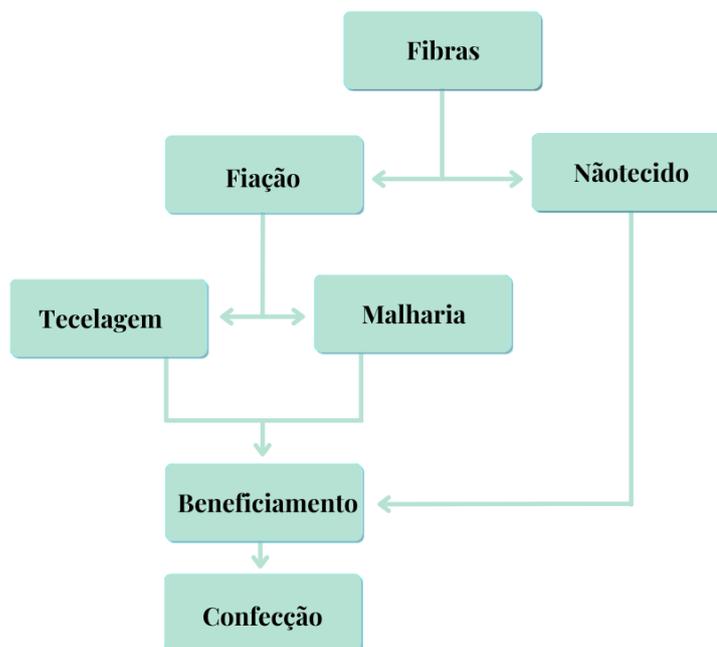
2.1 Indústria Têxtil

A indústria têxtil está espalhada por todo o mundo, desde países desenvolvidos até países com desenvolvimento econômico mais lento. A economia do setor é embasada em fatos históricos, políticos e econômicos e está diretamente ligado à sua constante evolução (MANENTI, 2011; ROCHA, 2011). Assim, de acordo com a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT, 2017), “A indústria têxtil foi a principal responsável por deflagrar a primeira revolução industrial, no século XVIII, ao substituir os teares manuais, pela tecnologia das máquinas movidas a vapor. Desde então, nunca parou de investir em novas tecnologias de produção e, atualmente, está na vanguarda da implementação da chamada Indústria 4.0”.

A cadeia produtiva têxtil pode ser muito diversificada, em conformidade ao produto final a ser produzido, contudo, o objetivo geral da indústria têxtil é converter fibras em fios, fios em tecidos e esses tecidos em produtos específicos durante a etapa de confecção. Na Figura 1 é apresentado um fluxograma da cadeia têxtil de forma simplificada.

As fibras têxteis são matérias-primas para a produção de fios, que podem ser divididas em fibras naturais e fibras não naturais. A partir das fibras, é realizado o processo de fiação ou a formação de não tecidos. No caso de não tecidos, consiste em materiais de estrutura plana, flexível ou porosa, com formação de véu ou manta de fibras ou filamentos, orientados ou ao acaso, consolidados por processos químicos, térmicos, mecânicos ou pela combinação dos três (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017). No processo de fiação, as fibras são convertidas em fios, prosseguindo para a tecelagem ou malharia. Na tecelagem, ocorre o processamento têxtil em que os fios (fio de urdume e fio de trama) são entrelaçados, formando um ângulo de 90°, transformando-os em tecidos planos. Na etapa de malharia, os fios compõem as laçadas que se entrelaçam, produzindo o tecido de malha. Uma vez que os tecidos de malha e planos são produzidos, os processos de beneficiamento são realizados conforme necessário. Ao final dessas etapas, o tecido vai para a confecção que produzirá o produto final (SENAI, 2016).

Figura 1: Cadeia produtiva têxtil



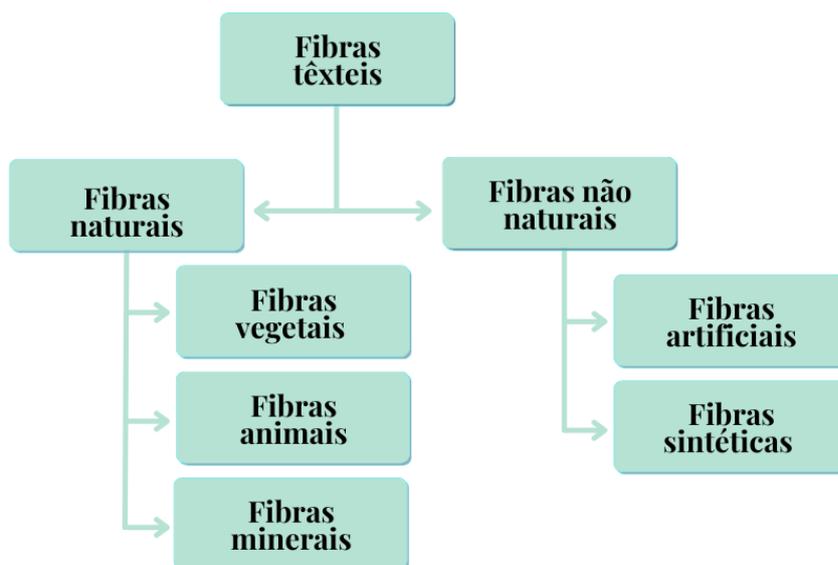
Fonte: Autoria própria (2022).

2.1.1 Fibras

A fibra têxtil é uma matéria-prima fibrosa que origina os têxteis e sendo definida de acordo com a sua flexibilidade, finura e comprimento no que se refere à dimensão transversal máxima (NEEDLES, 1986; ARAÚJO e CASTRO, 1986). São divididas em duas classes, as fibras naturais (vegetais, animais e minerais) e não naturais (artificiais e sintéticas). As fibras naturais são obtidas na natureza, como a fibra de algodão, lã, seda e linho, entre outras. Em contrapartida, as fibras não naturais são fabricadas industrialmente com polímeros naturais transformados por via química (fibras artificiais), ou no caso das fibras sintéticas como é o exemplo do poliéster e poliamida, por meio de síntese química (SHUVO, 2020). Na Figura 2 é apresentada a classificação das fibras têxteis.

Dentre as fibras têxteis mais utilizadas no mundo, o algodão é a fibra vegetal mais importante para a fabricação de produtos têxteis, sendo a produção mundial de algodão em 2020 de aproximadamente 24 milhões de toneladas, em 2021 de 25,1 milhões de toneladas, em 2022 com cerca de 24 milhões de toneladas e em 2023 está estimada em mais de 25 milhões de toneladas. Com isso, o algodão em 2022 representou cerca de 75% da produção mundial das fibras vegetais (DNFI, 2023), devido as suas características físicas de cor, brilho, resistência, alongamento (BAYER, 2020).

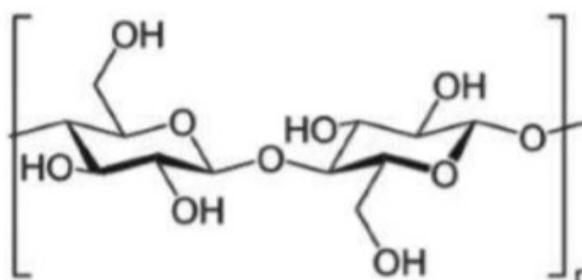
Figura 2: Classificação das fibras têxteis



Fonte: Autoria própria (2022).

A composição principal do algodão é a celulose $(C_6H_{10}O_5)_n$, cuja estrutura é apresentada na Figura 3, representando entre 88 a 96% da massa da fibra, com restante da sua composição sendo: gorduras, proteínas, açúcares, pectinas, entre outros (MALUF e KOLBE, 2003). As fibras naturais possuem pigmentos naturais de coloração amarelada/amarronzada, portanto, o algodão apresenta esse pigmento, que pode ser adquirido por fatores ambientais, por exemplo do solo, poeira, insetos, dentre outros. Essa coloração natural pode influenciar nos processos subsequentes e para a sua remoção, realiza-se o processo de alvejamento, deixando o algodão mais branco para os processos posteriores (OLIVEIRA et al., 2018).

Figura 3: Estrutura molecular da celulose



Fonte: Santos et al. (2012).

2.2 Beneficiamento têxtil

O beneficiamento têxtil corresponde um conjunto de processos empregados aos materiais têxteis, visando transformá-los em artigos brancos, tintos, estampados e acabados, a fim de melhorar suas características táteis e visuais (FREITAS, 2002). Este processo é subdividido em três etapas, sendo eles o beneficiamento primário, secundário e terciário (SENAI, 2016).

A fim de preparar o material têxtil para os processos subsequentes, o beneficiamento primário atende a esse objetivo com a eliminação de impurezas que podem afetar a qualidade final do tecido, por meio de processos mecânicos, físicos, químicos, bioquímicos e físico-químicos como: a chamuscagem, a navalhagem, a desengomagem, a mercerização, a purga e o alvejamento (ALCÂNTARA e DALTIM, 1996). Os processos do beneficiamento primário e seus objetivos são mencionados no Quadro 1.

O beneficiamento secundário refere-se a etapas de coloração do substrato têxtil parcial e/ou total, por meio do uso de corantes e pigmentos que alteram a cor original do material. Esta etapa é subdividida em tingimento e estamparia, utilizando diversos produtos químicos, caracterizando a etapa mais complexa do beneficiamento (AGUIAR et al., 2022).

O beneficiamento terciário, denominado também como acabamento final, é um processo que varia conforme a necessidade do produto e sua aplicação. Segundo Beltrame (2000), nos acabamentos finais são empregados, por exemplo, ácidos graxos ou ceras para proporcionar um aspecto de cetim ao substrato, resinas poliméricas na finalidade de aumentar a resistência ao esgarçamento, amaciantes que conferem um melhor toque, impermeabilizantes, anti-mofos, antibactericidas, entre outros.

Dentre os processos que são realizados no beneficiamento primário, a etapa de desengomagem é o foco de estudo desse trabalho. Nesse processo há a preparação do material removendo a goma aplicada anteriormente, a qual pode influenciar na sua molhabilidade, acarretando, por exemplo, em uma melhor purga, melhor tingimento, e assim, garantindo boa qualidade do tecido final (DAS et al., 2016).

Quadro 1: Processos do beneficiamento primário

Processos	Finalidade	Referência
Navalhagem	Eliminar, por meio do corte, as fibrilas salientes da superfície do artigo têxtil, prevenindo a formação de <i>pilling</i> .	SENAI, 2015.
Chamuscagem	Eliminar, por meio da queima, as fibrilas que ficam salientes na superfície do fio ou do tecido, assim dificulta o aspecto desuniforme, a regularidade dos estampados e tendência a formação de <i>pilling</i> .	LAVADO, 2012.
Desengomagem	É executada com substâncias químicas ou bioquímicas para retirar a goma que foi aplicada para aumentar a resistência do fio de urdume durante o processo de tecelagem.	PEZZOLO, 2007.
Purga	É o processo realizado para retirar as impurezas como gorduras, ceras e óleos presentes nas fibras, por meio de reações de saponificação e emulsão.	SENAI, 2015.
Mercerização	Nessa etapa ocorre o tratamento do substrato têxtil com hidróxido de sódio, aliado a tensão, modificando sua morfologia e proporcionando efeitos como brilho, melhor toque, maior estabilidade dimensional, maior absorção de corantes, entre outras características.	MAGALHÃES, 2007.
Alvejamento	É realizado para remoção da coloração amarelada do artigo têxtil com a finalidade de alcançar um grau de branco homogêneo para as etapas subsequentes, como tingir ou estampar.	ANNEPU, 2015.

Fonte: Autoria própria (2022).

2.3 Desengomagem

Os agentes engomantes que são empregados para aumentar a rigidez e resistência do fio na etapa de tecelagem, influenciam na hidrofiliidade do tecido, e quando este não é removido de forma adequada, pode interferir nos índices de solidez da cor e toque (SENAI, 2018; PICCOLI, 2014). Sendo assim, é necessária uma etapa de remoção da goma, denominada desengomagem, para melhorar a molhabilidade do material (SANTOS, 2012).

De acordo com Kolanjikombil (2019), as gomas utilizadas em fios 100% algodão são: amidos, CMC (Carboximetilcelulose), PVA (Álcool Polivinílico) e poliacrilato, conforme apresentado no Quadro 2. Os agentes engomantes sintéticos

(PVA, Poliacrilato) possuem várias vantagens quanto a sua eficiência, resistência à abrasão, entre outros. Porém esses produtos possuem um valor muito elevado e, para muitas empresas, tornam-se inviáveis. Com isso, tornou-se mundial o uso do amido devido a seu baixo custo (KOLANJIKOMBIL, 2019).

Quadro 2: Gomas utilizadas em cada fibra

Fibras	Amido	CMC	PVA	Poliacrilato	Poliéster	Co-polímeros
Algodão	x	x	x	x		
Viscose	x	x	x	x		
Acetato/Triacetato			x			
Poliamida				x		x
Poliéster				x	x	x
Poliacrilonitrila	x	x	x	x	x	
Lã		x	x	x		
Seda						x

x = adequado

Fonte: Adaptado de Kolanjikombil (2019).

A identificação da goma presente no tecido é necessária para executar uma desengomagem adequada e eficaz no material têxtil. Segundo Furlan (2012), a identificação do amido pode ser realizada de forma qualitativa ou quantitativa, sobre o substrato por meio da escala Tegewa, Figura 4. Para determinar a quantidade de amido que está presente é preparado uma solução de iodo e iodeto de potássio aplicando em gota no tecido. Se ao pingar a solução formar uma mancha azul intenso, há uma forte presença de amido (escala 1), de outro modo, uma coloração mais clara/amarelada aponta que é quase inexistente a presença do amido (escala 9), ou seja, ele foi hidrolisado de forma eficiente (FURLAN, 2012).

Figura 4: Escala Tegewa



Fonte: Tavares (2017).

A goma pode ser removida por vários processos, no qual estes são dependentes do tipo de fibra e goma utilizada. Por exemplo, segundo Alcântara e Daltin (1996), o processo por ensaboamento é indicado quando usado produtos solúveis em água, como a carboximetilcelulose. Em contrapartida, devido à baixa solubilidade em água do amido, ele deve ser decomposto em fragmentos, como dextrinas e maltose, que se dissolvem mais facilmente (KOLANJIKOMBIL, 2019).

O agente engomante que tem a base de amido, pode ser retirada por meio do processo de desengomagem enzimática empregando uma enzima, geralmente a alfa-amilase, para transformar o amido insolúvel em água em uma substância solúvel (dextrina-açúcar), ou por meio da desengomagem oxidativa utilizando o peróxido de hidrogênio e hidróxido de sódio em conjunto com o processo de purga e alvejamento, para transformar o amido insolúvel em água em substâncias solúveis e, assim, ser eliminado (PICCOLI, 2014; OLIVEIRA 2013).

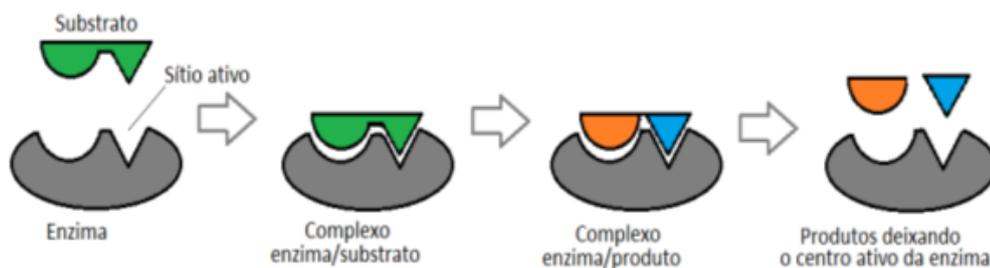
2.3.1 Desengomagem enzimática

A desengomagem enzimática ocorre por meio de enzimas, as quais são catalisadores biológicos, proteica e participantes de várias reações bioquímicas (COELHO et al., 2008). Esses catalisadores aceleram as reações conforme diminuem sua energia de ativação (SENAI, 2015). De acordo com Harger (1982), as enzimas são adquiridas de três fontes: vegetais (papaina do mamão, bromelina do abacaxi, ficina do figo); animais (enzimas pancreáticas, pepsina, catalase, renina) e microrganismos (como as amilases, proteases, pectinases, invertases, glicose-oxidases, celulases, fitases, glicose-isomerases), sendo de origem fúngica ou bacteriana.

De acordo com Ferreira (2012), as enzimas mais utilizadas na indústria têxtil são: amilase, lipase, pectinase, oxidase, catalase, peroxidase, celulase e protease. A mais indicada para desengomagem são as α -amilases, uma vez que possuem ação específica sobre o amido e não atacam a celulose da fibra de algodão (SOUZA e MAGALHÃES, 2010). Além disso, o processo é favorecido pela interação da enzima com o amido, pois antes a goma gerada pelo amido que é uma macromolécula insolúvel em água, se torna solúvel pela redução da sua massa molecular e pela transformação em dextrinas e maltose. Assim, nas próximas etapas, através da lavagem do tecido esses polissacarídeos poderão ser eliminados (TIMAR-BALÁZSY e EASTOP, 1998).

Emil Fischer chegou a sugerir um modelo de ligação enzima-substrato "chave-fechadura" em 1894. Fischer apontou que, nas enzimas, existem uma região com arranjo espacial que complementa o substrato, no qual ele se liga e configura um complexo entre os dois, o complexo enzima-substrato (RINGE, 2008). Esse mecanismo conhecido como chave-fechadura é apresentado na Figura 5.

Figura 5: Modelo chave-fechadura



Fonte: Silva (2011).

As enzimas catalisam reações biológicas, atuando basicamente como catalisadores químicos, contudo com algumas vantagens citadas por Medeiros et al. (2013), sendo elas:

- Alta capacidade para seletividade do produto desejado, catalisando um único substrato ou classe molecular, o que se assemelha ao mecanismo de chave-fechadura;
- As enzimas são biodegradáveis, com isso proporcionam a reutilização e a redução nos resíduos gerados no processo;
- Geralmente são atóxicas e não necessitam de condições especiais para serem utilizadas;
- Por último, atuando como catalisadores, elas aceleram a velocidade de reação e diminuem a energia de ativação.

Embora apresentem várias vantagens no uso das enzimas em processos industriais, algumas desvantagens são notadas, como a sensibilidade delas quanto a variação de pH e temperatura. O pH pode afetar os grupos químicos, na maioria aminoácidos, fazendo com que sofram ionizações e obtenham cargas momentâneas, transformando a estrutura da enzima, afetando seu mecanismo de chave-fechadura. A temperatura interfere na atividade enzimática, pois aumentando a velocidade das moléculas, acarreta no encontro da enzima e substrato. Todavia, a maioria das enzimas a alta temperatura sofre o processo de desnaturação, onde acontece o rompimento das ligações e interações fracas, sendo este um processo irreversível (MONTEIRO e SILVA, 2009).

Segundo estudo de Bezerra et al. (2015), onde foi analisado o uso da alfa-amilase e do peróxido de hidrogênio na desengomagem enzimática e oxidativa respectivamente, em um tecido 100% algodão, foi possível afirmar que, embora houve um maior tempo de processo e maior consumo de água, o processo de

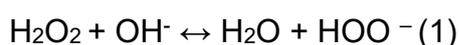
desengomagem enzimática seguida do processo de alvejamento manifestou uma vantagem na remoção da goma.

2.3.2 Desengomagem oxidativa

O processo de desengomagem oxidativa é um processo químico com agentes oxidantes que eliminam a goma e as impurezas presentes no artigo têxtil. No caso do amido, o agente decompõe o amido em partículas dispersíveis em água. A vantagem desse processo, seria a ação de degradação do amido, que é rápida o bastante para tornar o processo compatível com o sistema de lavagem e branqueamento do tecido, ou seja, de forma simultânea ele tende a realizar a desengomagem, a purga e o alvejamento (LOBO et. al, 2014).

Os agentes oxidantes mais populares são bromito de sódio (NaBrO_3), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e persulfato de amônio ou potássio ($(\text{NH}_4 \text{SO}_4)_2$). Dentre esses, o mais utilizado é o peróxido de hidrogênio, popularmente conhecido como água oxigenada (CLARK, 2011). Ele tem o efeito de oxidar a cadeia do amido, resultando em gás carbônico e água, assim como também oxidar os pigmentos naturais da fibra e cascas, promovendo o alvejamento (SENAI, 2015).

Segundo Cegarra (1997), na etapa de alvejamento com peróxido de hidrogênio geralmente é adicionado um álcali para promover a dissociação dos íons, sendo apresentado na seguinte reação:



O íon peroxila formado na reação (HOO^-), é o que atua como agente oxidante e realiza a etapa de oxidação do amido e pigmento natural da fibra. São usados em conjunto com o peróxido de hidrogênio: o hidróxido de sódio para alcalinizar o banho e ativar a reação do H_2O_2 , hidrolisando o amido e saponificando os materiais graxos; os tensoativos, que são detergentes; emulsionante, dispersante e umectante, que são os produtos que atuam na hidrofiliabilidade do material; o complexante que age complexando o ferro para prevenir a decomposição rápida do H_2O_2 ; e o estabilizador que coordena o desprendimento do elemento ativo (SENAI, 2018).

Conforme Senai (2015), os parâmetros de controle para desengomagem oxidativa são o pH, sendo utilizado acima de 8-10; a temperatura, 80°C à 100°C; e o tempo do processo entre 20 minutos a 60 minutos.

A partir deste contexto, nota-se a importância de realizar uma análise de parâmetros pré-definidos para os processos de desengomagem enzimática e oxidativa, a fim de se obter um material têxtil com bons resultados.

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais

Para a realização dos experimentos, utilizou-se um tecido plano com as características apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Características do tecido plano

Tecido plano	
Composição	100% algodão
Gramatura	259 g.m ⁻²
Sarja	3/1, base 4x4, diagonal Z
Fio de trama	Ne 10/1
Fio de urdume	Ne 16/1



Fonte: Autoria própria (2023).

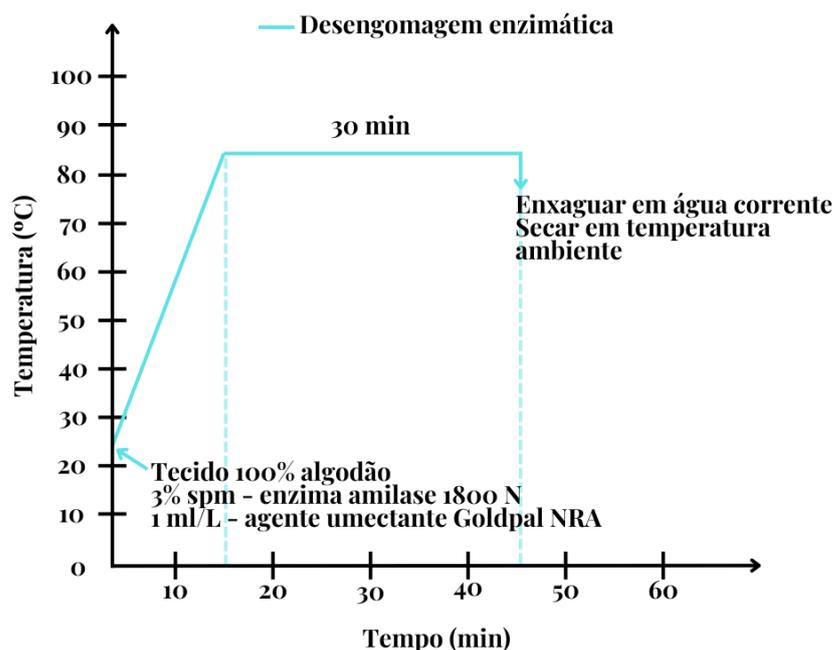
Realizou-se os experimentos na UTFPR – câmpus Apucarana, sendo os principais materiais utilizados: enzima amilase BioKey 1800 N (Akmey), peróxido de hidrogênio (35%, Synth), hidróxido de sódio P.A-ACS (Dinâmica), e outros materiais de grau analítico.

3.2 Desengomagem

Os processos de desengomagem enzimática e oxidativa foram realizados no equipamento para processos por esgotamento (KIMAK AT1-SW), denominada máquina de canecas.

Para o processo enzimático, utilizou-se a metodologia baseada no boletim técnico da enzima BioKey 1800 N. Sendo, a relação de banho de 1:30 (m:v), concentração de enzima 3% spm e 1mL.L⁻¹ de agente umectante Goldpal NRA (Golden Technology). Os reagentes e a amostra de tecido foram adicionados juntos (processo *all in*) e, em seguida, iniciou-se o aquecimento até 85°C, sendo que a mesma foi mantida por 30 minutos, conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6: Gráfico de processo experimental de desengomagem enzimática

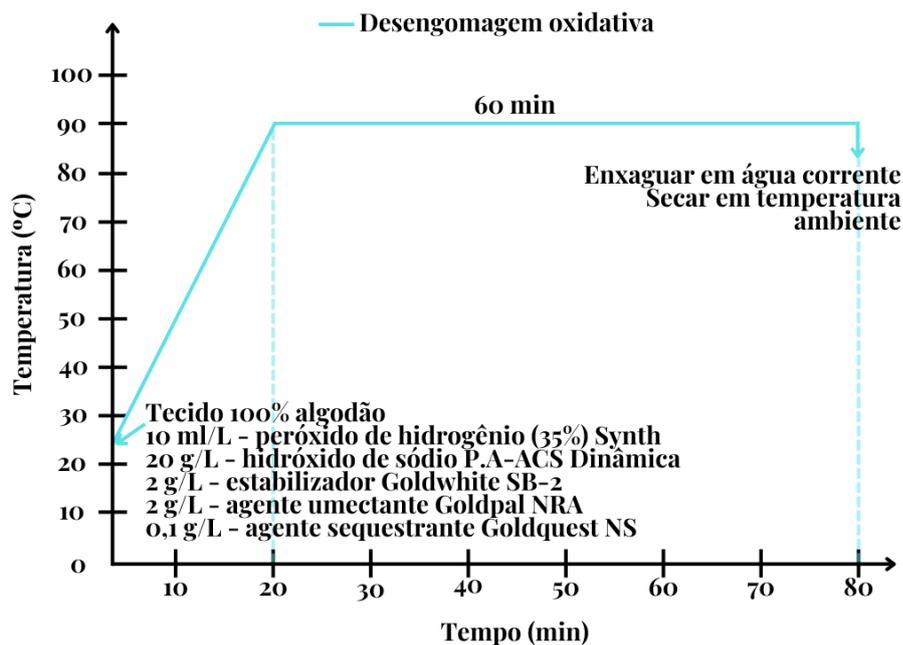


Fonte: Autoria própria (2022).

Para o processo oxidativo, utilizou-se a metodologia adaptada de Cegarra (1997), Senai (2018) e o boletim técnico do agente umectante, sequestrante e estabilizador. Deste modo, utilizou-se uma relação de banho de 1:30 (m:v), uma concentração de $10 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ de peróxido de hidrogênio (35%, Synth), $20 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ de hidróxido de sódio (Dinâmica), $2 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ de estabilizador Goldwhite SB-2 (Golden Technology), $2 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ de agente umectante Goldpal NRA e $0,1 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ de agente sequestrante Goldquest NS (Golden Technology). Os reagentes e a amostra de tecido foram adicionados juntos (processo *all in*) e, em seguida, iniciou-se o aquecimento até uma temperatura de 90°C , sendo que a mesma foi mantida por um tempo de 60 minutos, conforme a Figura 7.

Após a realização de cada processo de desengomagem, descartou-se o conteúdo do banho, enxaguou-se o tecido em água corrente e secou-se em temperatura ambiente.

Figura 7: Gráfico de processo experimental de desengomagem oxidativa



Fonte: Autoria própria (2022).

Para analisar a influência da concentração da enzima amilase BioKey 1800 N, tempo e temperatura e, a concentração de peróxido de hidrogênio (35%), concentração de hidróxido de sódio e tempo de processo, na desengomagem enzimática e oxidativa respectivamente, adotou-se o planejamento fatorial 2^3 , composto de oito ensaios, realizados em duplicata e três pontos centrais. No planejamento fatorial, adotou-se como variáveis respostas a capilaridade para ambos processos, além do índice de brancura para o processo oxidativo. Na Tabela 2 são apresentadas as variáveis e níveis para o processo de desengomagem enzimática e na Tabela 3 para o processo oxidativo.

Para determinar todas as possíveis combinações dos níveis dos fatores em cada ensaio utilizou-se o *software Design-Expert*, versão 7.0.

Tabela 2: Planejamento fatorial para desengomagem enzimática

Ensaio	Variáveis reais			Variáveis codificadas		
	Concentração de enzima (%spm)	Tempo (minutos)	Temperatura (°C)	A	B	C
1	0,1	5	50	-1	-1	-1
2	3	5	50	+1	+1	-1
3	0,1	30	50	-1	-1	-1
4	3	30	50	+1	+1	-1
5	0,1	5	85	-1	-1	+1
6	3	5	85	+1	+1	+1
7	0,1	30	85	-1	-1	+1
8	3	30	85	+1	+1	+1
9	1,55	17,5	67,5	0	0	0
10	1,55	17,5	67,5	0	0	0
11	1,55	17,5	67,5	0	0	0

Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 3: Planejamento fatorial para desengomagem oxidativa

Ensaio	Variáveis reais			Variáveis codificadas		
	Concentração de H ₂ O ₂ (ml/L)	Concentração de NaOH (g/L)	Tempo (minutos)	A	B	C
1	2	20	20	-1	-1	-1
2	10	20	20	+1	-1	-1
3	2	40	20	-1	+1	-1
4	10	40	20	+1	+1	-1
5	2	20	60	-1	-1	+1
6	10	20	60	+1	-1	+1
7	2	40	60	-1	+1	+1
8	10	40	60	+1	+1	+1
9	6	30	40	0	0	0
10	6	30	40	0	0	0
11	6	30	40	0	0	0

Fonte: Autoria própria (2022).

3.3 Análise da capilaridade

Para analisar a hidrofiliidade por meio da capilaridade das amostras, utilizou-se a metodologia adaptada da norma *Japanese Industrial Standart* - JIS (2004). Deste modo, cortou-se as amostras em tiras (10 x 2,5 cm), sendo realizada uma marcação

de 2 cm de comprimento, logo após, esses 2 cm foram imersos em uma solução contendo corante reativo azul BG-R (Golden Technology). Após 5 minutos, retirou-se a amostra da solução e, mediu-se a altura de corante absorvido pela capilaridade em centímetros (cm), sendo que quanto maior o valor medido maior a capilaridade do tecido. Na Figura 8 é apresentada a forma como foi realizada esta análise.

Figura 8: Análise da capilaridade



Fonte: Autoria própria (2022).

3.4 Análise do índice de brancura

Após realizar o processo de desengomagem oxidativa, analisou-se o índice de brancura das amostras por meio da espectrofotometria Delta Vista 450G (Delta Calor), em três leituras, utilizando o sistema CieW.

3.5 Teste estatístico para comparação de médias

A fim de realizar estatisticamente a comparação entre as médias dos resultados obtidos de capilaridade por meio do processo enzimático e oxidativo, foi classificado em ordem decrescente os resultados de cada processo e realizado o teste de Tukey a nível de 5% de significância. O teste de Tukey pode ser utilizado para comparar todo e qualquer contraste entre duas médias de tratamentos, sendo o valor encontrado que

determina se as médias consideradas possuem diferença significativa entre si (JACQUES, 2003).

3.6 Análise colorimétrica

Utilizando as melhores condições encontradas do processo enzimático e oxidativo para a variável resposta capilaridade, realizou-se o processo de tingimento por esgotamento, em duplicata, na máquina de canecas (KIMAK AT1-SW), a fim de analisar a cor das amostras.

Na amostra 1, realizou-se o processo de desengomagem enzimática e, em seguida, o tingimento, sem passar pelos processos de purga e alvejamento. Na amostra 2, realizou-se o processo de desengomagem enzimática, de purga alcalina e de alvejamento e, por fim, o processo de tingimento. Na amostra 3, realizou-se o processo de desengomagem oxidativa e, após, realizou-se o processo de tingimento.

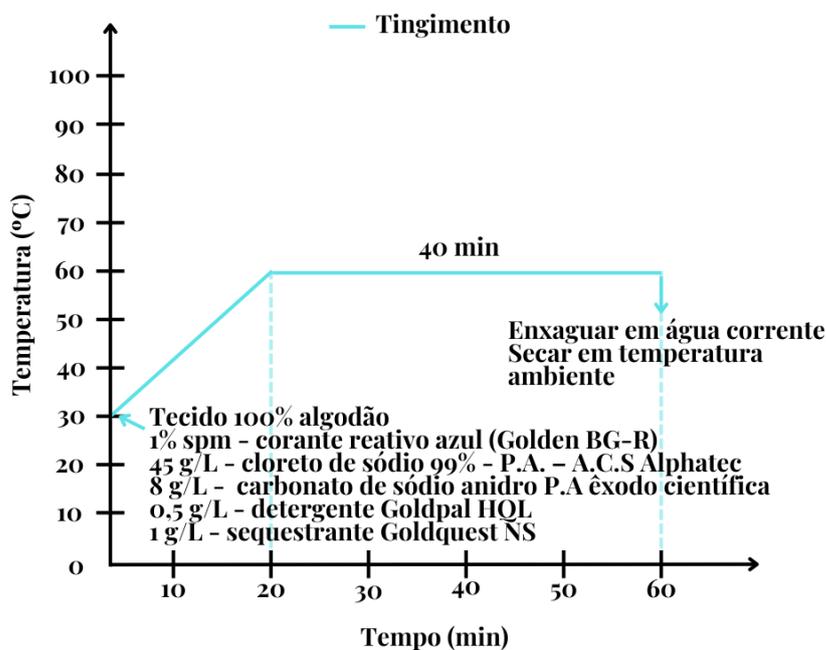
Utilizou-se para o processo de purga alcalina e alvejamento as melhores condições adaptadas de Silva (2019) e Custódio (2019), respectivamente. Deste modo, para a purga alcalina utilizou-se uma relação de banho 1:20, 2 g.L⁻¹ de hidróxido de sódio (Dinâmica), 1 mL.L⁻¹ de agente umectante Goldpal NRA (Golden Technology), sendo esses produtos adicionados em processo *all in* e, em seguida, iniciou-se o processo até o aquecimento de 90°C e mantida por 20 minutos. Após, lavou-se a frio as amostras e, em seguida, realizou-se a secagem em temperatura ambiente.

Para o processo de alvejamento, utilizou-se uma relação de banho 1:30, 6 mL.L⁻¹ de peróxido de hidrogênio (35%, Synth), 5 mL.L⁻¹ de hidróxido de sódio (Dinâmica), 1 g.L⁻¹ de agente umectante Goldpal NRA (Golden Technology), 1 g.L⁻¹ de agente estabilizador Goldwhite SB-2 (Golden Technology), sendo esses produtos adicionados em processo *all in* e, em seguida, iniciou-se o processo até o aquecimento de 90°C e mantida por 60 minutos. Após, lavou-se a frio as amostras e, em seguida, realizou-se a secagem em temperatura ambiente.

Utilizou-se para o processo de tingimento a metodologia fornecida pela empresa Golden Technology. Desta forma, utilizou-se 1% spm de concentração de corante reativo azul BG-R, 45 g.L⁻¹ de cloreto de sódio 99% - P.A. – A.C.S (Alphatec), 8 g.L⁻¹ de carbonato de sódio anidro P.A (Êxodo Científica), 0,5 g.L⁻¹ de detergente Goldpal NRA e 1 g.L⁻¹ de dispersante Goldquest NS. Os reagentes e a amostra de tecido foram adicionados simultaneamente (processo *all in*) e, em seguida, iniciou-se

o aquecimento até 60°C, sendo que a mesma foi mantida por 40 minutos. Lavou-se a frio e, secou-se em temperatura ambiente, conforme apresentado na Figura 9.

Figura 9: Gráfico de processo experimental de tingimento



Fonte: Autoria própria (2022).

Após a realização do tingimento, analisou-se as amostras utilizando o espectrofotômetro Delta Vista 450G (Delta Calor), onde registrou-se as coordenadas do espaço de cor $L^* a^* b^*$, também conhecido como CIELab e comparou as amostras com o tecido cru, que foi utilizado como amostra padrão. A Comissão Internationale de L'Eclairage – CIE (1986) desenvolveu esse sistema de cores de forma numérica, em que as três coordenadas definem a cor, sendo elas:

- L^* : Referente a luminosidade, variando entre preto e branco;
- a^* : Medida cromática do eixo vermelho-verde;
- b^* : Medida cromática do eixo amarelo-azul.

Segundo Neves (2000), no sistema CIE $L^* a^* b^*$ tem-se a diferença de cor (ΔE^*) pela comparação da leitura de cor entre o tecido padrão e a amostra e, abrange a diferença de cor das três coordenadas utilizadas. O cálculo é realizado conforme a Equação 1.

Equação 1: Cálculo da diferença de cor

$$\Delta E^* = \sqrt{[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]}$$

Fonte: CIE (1986).

Em que, ΔL^* é diferença de luminosidade, Δa^* é a diferença cromática no eixo vermelho/verde e Δb^* é a diferença cromática no eixo amarelo/azul.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Planejamento fatorial para desengomagem enzimática

4.1.1 Análise de capilaridade

Os resultados obtidos por meio dos experimentos realizados conforme o planejamento fatorial da Tabela 2, possibilitou verificar a influência dos fatores concentração de enzima, tempo e temperatura na variável resposta de capilaridade do processo de desengomagem enzimática. Os resultados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Resultados obtidos da capilaridade no processo enzimático

Ensaio	Concentração de enzima (%spm)	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Capilaridade 1 (cm)	Capilaridade 2 (cm)	Média Capilaridade (cm)
Cru	0	0	0	0	0	0
1	0,1	5	50	7,2	8	7,60
2	3	5	50	6,6	8,1	7,35
3	0,1	30	50	8,5	8,6	8,55
4	3	30	50	8,2	8,1	8,15
5	0,1	5	85	7,5	7,1	7,30
6	3	5	85	8,1	7,5	7,80
7	0,1	30	85	8,1	7,5	7,80
8	3	30	85	8,3	8,4	8,35
9	1,55	17,5	67,5	8,10	-	-
10	1,55	17,5	67,5	8,40	-	-
11	1,55	17,5	67,5	8,00	-	-

Fonte: Autoria própria (2023).

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 4, o tecido desengomado pelo processo enzimático que apresentou melhor capilaridade média foi o ensaio 3 (8,55 cm), utilizando a menor concentração de enzima, maior tempo e menor temperatura, enquanto o que apresentou o menor valor médio de capilaridade foi o ensaio 5 (7,30 cm), com menor concentração de enzima, menor tempo e maior temperatura.

Nota-se que em ambos ensaios utilizou-se a mesma concentração de enzima, indicando que a menor concentração de enzima foi suficiente para atingir o objetivo

de desengomar e que o com o aumento da temperatura pode ter ocasionado a desnaturação da enzima, conseqüentemente inativando a sua função e, não removendo o amido (MONTEIRO e SILVA, 2009). Portanto, isto pode indicar que para a concentração de enzima utilizada, o aumento da temperatura não favorece o processo de desengomagem enzimática e que o aumento do tempo pode melhorar os resultados obtidos.

São apresentados na Tabela 5, o efeito das variáveis e o percentual de contribuição de cada uma delas para a resposta capilaridade, obtidos por meio do *software Design-Expert 7.0*. Fez-se a seleção dos efeitos com maior contribuição, a fim de obter um modelo significativo, para a análise de variância (ANOVA).

Tabela 5: Efeito e percentual de contribuição para a capilaridade no processo enzimático

Termos	Efeito	Soma dos quadrados	Percentual de contribuição
A- Concentração de enzima	0,100	0,040	0,78
B-Tempo	0,70	1,96	38,30
C-Temperatura	-0,10	0,040	0,78
Interação AC	0,43	0,72	14,12
Interação BC	-0,17	0,12	2,39
Curvatura	0,099	0,23	4,57

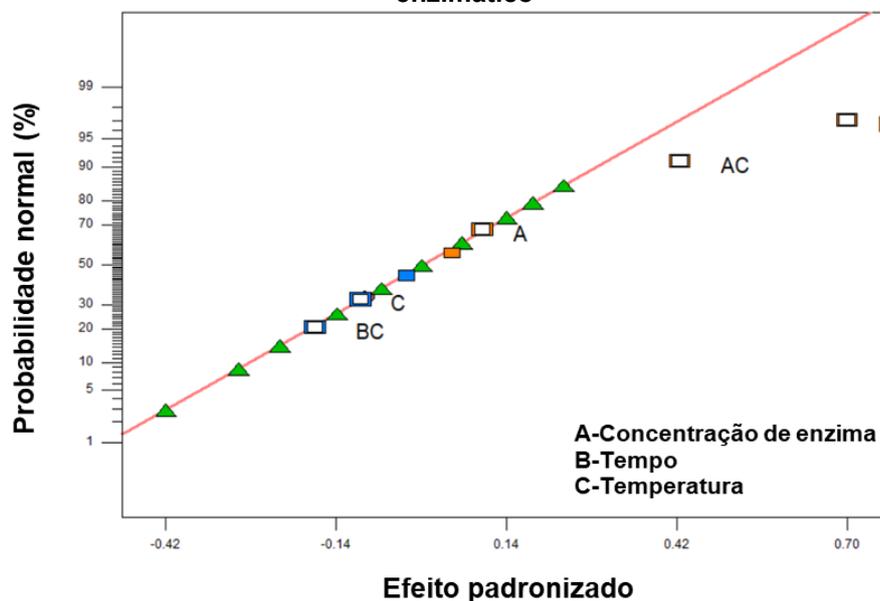
Fonte: Autoria própria (2023).

Como pode ser observado na Tabela 5, o tempo de processo foi o parâmetro que apresentou maior percentual de contribuição para o aumento da capilaridade, com 38,30%, seguido pela interação AC, com 14,12% de contribuição. Além disso, os valores de efeito positivos apontam que o aumento no fator resulta em uma maior capilaridade, enquanto que o efeito negativo indica que o fator é inversamente proporcional à variável resposta, isto é, a diminuição do fator aumenta a capilaridade, como é o caso da temperatura e da interação BC.

A verificação dos fatores significativos em relação à capilaridade baseou-se na análise do gráfico de probabilidade normal dos efeitos obtido pelo *software Design-Expert 7.0*, apresentado na Figura 10. Os valores mais distantes da reta indicam efeitos significativos, à medida que os valores mais próximos ou sobrepostos são considerados não significativos. Deste modo, observando a Figura 10 tem-se que o

tempo e a interação AC indicam ser significativos, enquanto os fatores concentração de enzima, temperatura e a interação BC indicam ser não significativos.

Figura 10: Gráfico de probabilidade normal dos efeitos em relação a capilaridade do processo enzimático



Fonte: Autoria própria (2023).

Com o auxílio do *software Design-Expert 7.0* juntamente com os valores de capilaridade apresentados anteriormente na Tabela 5, foi possível verificar se houve diferença significativa entre os níveis dos fatores a partir da análise de variância (ANOVA), portanto, na Tabela 6 são apresentados os resultados obtidos para a capilaridade. Foi realizada, com estes resultados, uma análise baseada no valor-p, sendo que quando este valor for menor ou igual a 0,05 o efeito é considerado significativo sobre a variável resposta, caso contrário é não significativo.

Dessa forma, analisando a Tabela 6, nota-se que o modelo proposto é considerado significativo, enquanto que a falta de ajuste é não significativa, ou seja, os dados se ajustaram ao modelo adotado e, o fator tempo de processo indica um efeito significativo para a variável resposta capilaridade.

Tabela 6: Nível de significância dos parâmetros na capilaridade pela ANOVA no processo enzimático

Fator	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	Valor F	Valor-p
Modelo	2,89	5	0,58	3,46	0,0361
A- Concentração de enzima	0,040	1	0,040	0,24	0,6330
B-Tempo	1,96	1	1,96	11,76	0,0050
C-Temperatura	0,040	1	0,040	0,24	0,6330
Interação AC	0,72	1	0,72	4,34	0,0594
Interação BC	0,12	1	0,12	0,74	0,4080
Curvatura	0,23	1	0,23	1,40	0,2592
Residual	2,00	12	0,17	-	-
Falta de ajuste	0,012	2	0,00625	0,031	0,9691
Erro puro	1,99	10	0,20	-	-
Total	5,12	18	-	-	-

Fonte: Autoria própria (2023).

A análise de variabilidade dos dados pode ser representada pelo coeficiente de correlação R^2 , sendo explicada baseada nos efeitos significativos da ANOVA, em que quanto mais alto o seu valor, se aproximando de 100%, o modelo ajustado justifica a variabilidade do valor (SILVA, 2013). O modelo apresentou um R^2 de 0,5907 indicando que 59,07% da variabilidade das repostas podem ser explicadas pela variação dos fatores apresentados. Após a análise da ANOVA, obteve-se a equação do modelo, Equação 2, apresentada a seguir:

Equação 2: Equação do modelo para a capilaridade

$$\begin{aligned} \text{Capilaridade} = & 7,91558 - (0,53079 \times A) + (0,055 \times B) - (0,00883744 \times C) \\ & + (0,00837438 \times A \times C) - (0,0004 \times B \times C) \end{aligned}$$

Fonte: Autoria própria (2023).

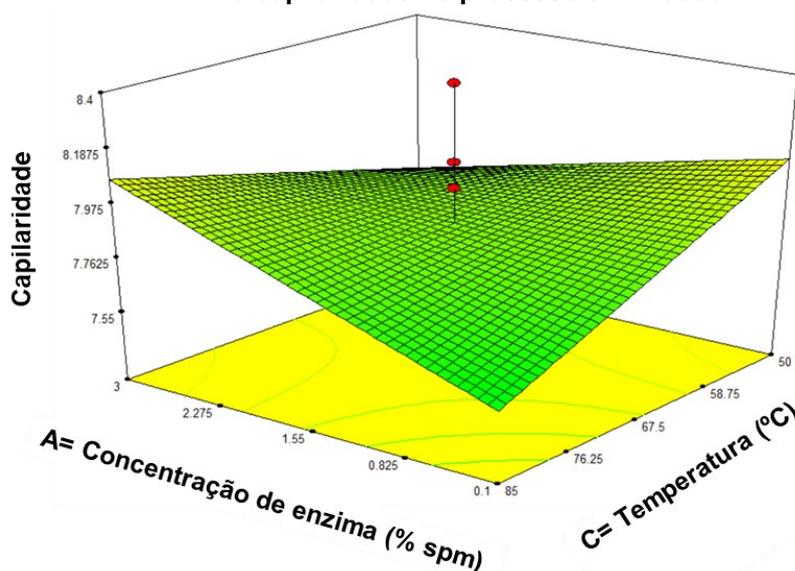
Em que A = Concentração de enzimas (%spm), B = Tempo (minutos), C = Temperatura (°C).

A fim de analisar o comportamento do tecido desengomado pelo processo enzimático em relação a capilaridade, conforme as condições de concentração de enzima, tempo e temperatura, foram obtidos gráficos de superfície por meio do *software Design Expert 7.0*, sendo que cada gráfico foi construído levando em consideração o ponto central do terceiro fator.

Na Figura 11 é apresentada a curva de superfície para analisar a influência da concentração de enzima e temperatura na capilaridade do tecido desengomado. Observa-se na curva de superfície que a capilaridade foi mais alta com a maior concentração de enzima e maior temperatura, assim como com a menor concentração de enzima e menor temperatura. Segundo Furlong (2000), a velocidade da quebra do complexo enzima-substrato, a afinidade da enzima com ativadores e inibidores e, a velocidade de destruição da enzima são influenciadas pelas temperaturas altas.

Diante disso, acredita-se que mesmo com uma maior concentração de enzima, em temperatura mais alta, pode ter iniciado o processo de desnaturação da enzima e, por isso não foi observado um aumento significativo da capilaridade em relação a menor concentração de enzima e temperatura mais baixa.

Figura 11: Gráfico de superfície dos fatores concentração de enzima e temperatura em relação a capilaridade no processo enzimático

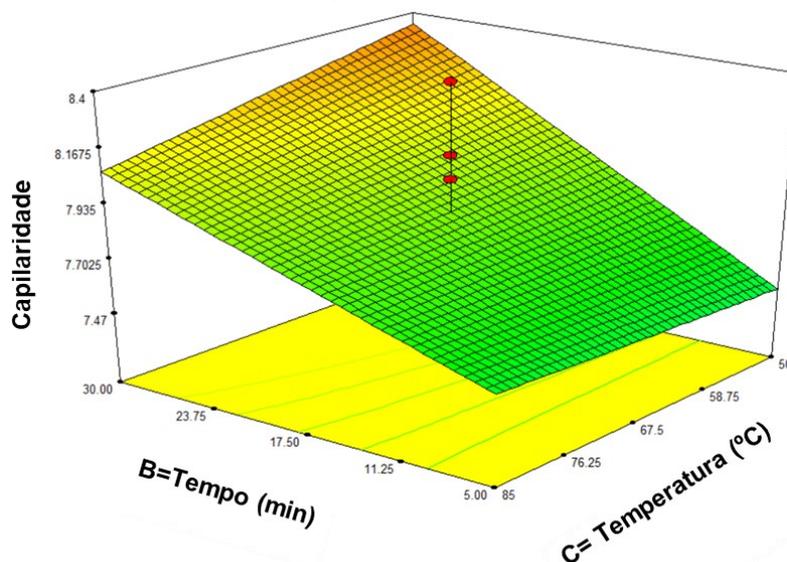


Fonte: Autoria própria (2023).

Na Figura 12 é apresentada a curva de superfície para analisar a influência do tempo e temperatura na capilaridade do tecido desengomado. Observa-se na curva de superfície que a maior capilaridade ocorreu em condições de maior tempo, indicando que quanto maior o tempo de contato enzima-substrato, mais produtos, como dextrinas e maltose, serão formados (COSTA e OLIVEIRA; 2016), ou seja, maior a remoção do amido e conseqüentemente, maior a capilaridade. Nota-se uma melhora da capilaridade nos resultados de menor temperatura, evidenciando o que foi discutido

anteriormente de que em temperaturas mais altas a enzima pode iniciar sua desnaturação, inativando a função exercida sobre o amido.

Figura 12: Gráfico de superfície dos fatores tempo e temperatura em relação a capilaridade no processo enzimático



Fonte: Autoria própria (2023).

4.2 Planejamento fatorial para desengomagem oxidativa

4.2.1 Análise de capilaridade

Os resultados obtidos por meio dos experimentos realizados conforme o planejamento fatorial da Tabela 3, possibilitou verificar a influência dos fatores concentração de H_2O_2 , concentração de NaOH e tempo na variável resposta capilaridade do processo de desengomagem oxidativa. Os resultados são apresentados na Tabela 7.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 7, o tecido desengomado pelo processo oxidativo que apresentou melhor capilaridade média foi o ensaio 6 (7,15 cm), utilizando a maior concentração de H_2O_2 , menor concentração de NaOH e maior tempo, ao passo que o menor valor médio de capilaridade foi do ensaio 4 (5,9 cm), com a maior concentração de H_2O_2 , maior concentração de NaOH e menor tempo.

Tabela 7: Resultados obtidos da capilaridade no processo oxidativo

Ensaio	Concentração de H ₂ O ₂ (ml/L)	Concentração de NaOH (g/L)	Tempo (min)	Capilaridade 1 (cm)	Capilaridade 2 (cm)	Média Capilaridade (cm)
Cru	0	0	0	0	0	0
1	2	20	20	6,5	6,4	6,45
2	10	20	20	6,6	7	6,8
3	2	40	20	5,8	6,8	6,3
4	10	40	20	5,8	6	5,9
5	2	20	60	6,1	7	6,55
6	10	20	60	7	7,3	7,15
7	2	40	60	6,8	6,6	6,7
8	10	40	60	6,5	6,2	6,35
9	6	30	40	6	-	-
10	6	30	40	6,3	-	-
11	6	30	40	6	-	-

Fonte: Autoria própria (2023).

A mudança nas condições entre os ensaios fez com que variasse o efeito da capilaridade, indicando que a maior concentração de H₂O₂ com um maior tempo de processo, atingisse um melhor resultado na remoção do amido. Com o aumento desses fatores, o peróxido de hidrogênio pôde exercer de forma eficaz, sua função de oxidar e remover o amido e os pigmentos naturais presentes na fibra, contribuindo para uma melhor capilaridade (LIMA, 2022).

Em relação ao ensaio 4, a concentração de NaOH pode não ter contribuído na capilaridade pelo tempo insuficiente de processo ou pelo aumento excessivo do pH, podendo afetar as propriedades capilares da fibra de algodão e influenciar negativamente na capilaridade do tecido, além de poder causar danos nas propriedades físicas da fibra (TOMASINO, 1992).

Na Tabela 8 são apresentados o efeito das variáveis e o percentual de contribuição de cada variável para a resposta capilaridade, obtidos por meio do *software Design-Expert 7.0*. Fez-se a seleção dos efeitos com maior contribuição, a fim de obter um modelo significativo, para a análise de variância (ANOVA).

Como pode ser observado na Tabela 8, a concentração de NaOH e a interação AB foram os parâmetros que apresentaram maior percentual de contribuição para o aumento da capilaridade, com 20,15% cada. Os efeitos dos fatores

concentração de NaOH e interação AB foram negativos, indicando que a diminuição desses fatores resulta numa maior capilaridade e, como discutido anteriormente, o resultado do processo oxidativo que apresentou melhor capilaridade, foi obtido com menor concentração de NaOH.

Tabela 8: Efeito e percentual de contribuição para a capilaridade no processo oxidativo

Termos	Efeito	Soma dos quadrados	Percentual de contribuição
A- Concentração de H ₂ O ₂	0,050	0,010	0,28
B-Concentração de NaOH	-0,43	0,72	20,15
C-Tempo	0,32	0,42	11,78
Interação AB	-0,42	0,72	20,15
Interação BC	0,10	0,040	1,12
Curvatura	-0,11	0,46	12,72

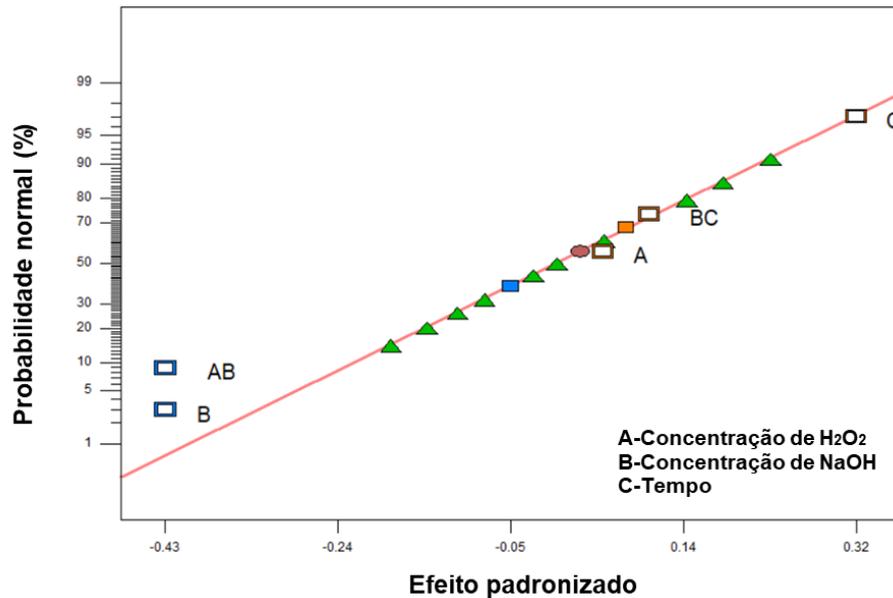
Fonte: Autoria própria (2023).

A verificação dos fatores significativos em relação à capilaridade baseou-se na análise do gráfico de probabilidade normal dos efeitos obtido pelo *software Design-Expert 7.0*, apresentado na Figura 13. Observa-se que na Figura 13 que os fatores concentração de NaOH e interação AB indicam apresentar um efeito significativo na capilaridade por estarem mais distantes da reta, porém como discutido anteriormente, são efeitos negativos, portanto com a diminuição desses fatores há um aumento na capilaridade.

Com o auxílio do *software Design-Expert 7.0* e os valores de capilaridade apresentados na Tabela 7, foi possível verificar se houve diferença significativa entre os níveis dos fatores a partir da análise de variância (ANOVA). Sendo que os resultados obtidos são apresentados na Tabela 9. Foi realizada, com estes resultados, uma análise baseada no valor-p, sendo que quando este valor for menor ou igual a 0,05 o efeito é considerado significativo sobre a variável resposta, caso contrário é não significativo.

Ao observar a Tabela 9, nota-se que o modelo proposto é considerado significativo, enquanto a falta de ajuste é não significativa, ou seja, os dados se ajustaram ao modelo adotado. Os efeitos significativos para a variável resposta capilaridade foram a concentração de NaOH e a interação AB.

Figura 13: Gráfico de probabilidade normal dos efeitos em relação a capilaridade do processo oxidativo



Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 9: Nível de significância dos parâmetros na capilaridade pela ANOVA no processo oxidativo

Fator	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	Valor F	Valor-p
Modelo	1,92	5	0,38	3,80	0,0271
A-Concentração de H ₂ O ₂	0,010	1	0,010	0,099	0,7585
B-Concentração de NaOH	0,72	1	0,72	7,15	0,0203
C-Tempo	0,42	1	0,42	4,18	0,0634
Interação AB	0,72	1	0,72	7,15	0,0203
Interação BC	0,040	1	0,040	0,40	0,5410
Curvatura	0,46	1	0,46	4,52	0,0550
Residual	1,21	12	0,10	-	-
Falta de ajuste	0,033	2	0,016	0,14	0,8730
Erro puro	1,18	10	0,12	-	-
Total	3,59	18	-	-	-

Fonte: Autoria própria (2023).

O modelo apresentou um R² de 0,6126 indicando que 61,26% da variabilidade das repostas podem ser explicadas pela variação dos fatores apresentados. Após a análise da ANOVA, obteve-se a equação do modelo, Equação 3, apresentada a seguir:

Equação 3: Equação do modelo para a capilaridade

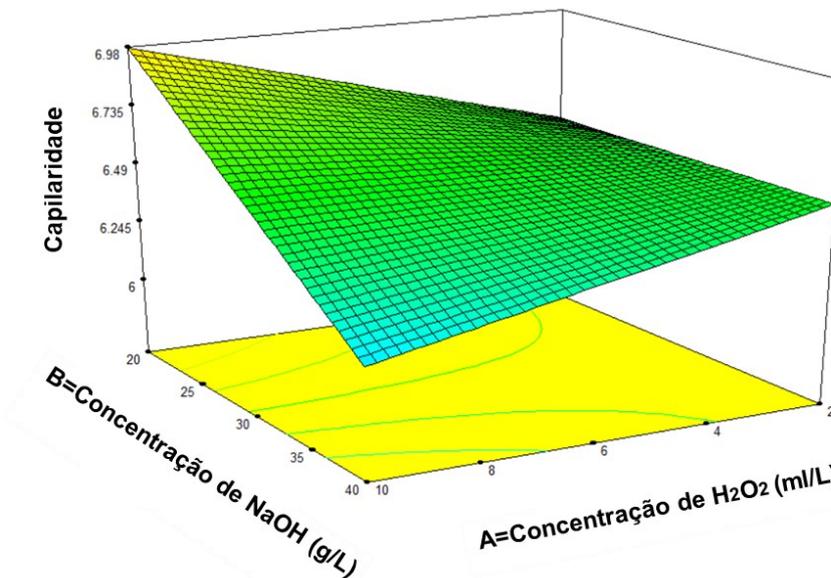
$$\text{Capilaridade} = 6,14375 + (0,16562 \times A) + (0,000625 \times B) + (0,000625 \times C) \\ - (0,0053125 \times A \times B) + (0,00025 \times B \times C)$$

Fonte: Autoria própria (2023).

Em que A = Concentração de H₂O₂ (mL.L⁻¹), B = Concentração de NaOH (g.L⁻¹), C = Tempo (minutos).

Com a finalidade de analisar o comportamento do tecido desengomado pelo processo oxidativo em relação a capilaridade, conforme as condições de concentração de H₂O₂, concentração de NaOH e tempo foram obtidos gráficos de superfície por meio do *software Design Expert 7.0*. Na Figura 14 é apresentada a curva de superfície para analisar a influência da alteração dos fatores concentração de H₂O₂ e concentração de NaOH na capilaridade.

Figura 14: Gráfico de superfície dos fatores concentração de H₂O₂ e concentração de NaOH em relação a capilaridade no processo oxidativo



Fonte: Autoria própria (2023).

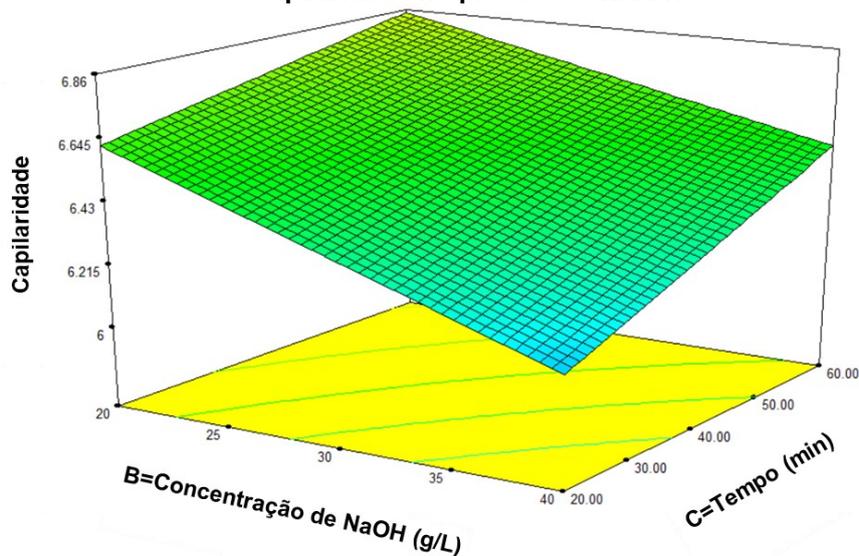
Observa-se na Figura 14 que a capilaridade aumentou com o aumento da concentração de H₂O₂ e diminuição da concentração de NaOH. Como já discutido, o H₂O₂ atua em meio alcalino e com o auxílio do NaOH, os íons peroxila gerados, conforme a reação (1), podem oxidar o amido e os pigmentos naturais da fibra, aumentando a capilaridade do material (SENAI, 2018; CEGARRA, 1997). Conforme discutido anteriormente, com o aumento da concentração de hidróxido de sódio, pode

ocorrer uma produção acelerada de íons peroxila, impactando as características capilares do material. Por isso, com o aumento da concentração de H_2O_2 e diminuição da concentração de NaOH indica uma melhor capilaridade.

Na Figura 15 é apresentada a curva de superfície contendo a variação dos fatores concentração de NaOH e tempo para analisar a influência dos mesmos na capilaridade. Nota-se que a maior capilaridade foi permitida em condições de menor concentração de NaOH e maior tempo de processo. Como discutido anteriormente, com o aumento da concentração de NaOH pode ocasionar uma rápida geração de íons peroxila, afetando negativamente as propriedades capilares da fibra. Como o NaOH ativa a reação do H_2O_2 e, a estrutura química da celulose se assemelha a do amido, o peróxido de hidrogênio pode não só oxidar o amido e os pigmentos naturais, como também a fibra de algodão e, esta sendo degradada, suas propriedades de capilaridade podem ser comprometidas (KOLANJIKOMBIL, 2019).

Com o aumento do tempo de processo, conforme discutido anteriormente, o peróxido de hidrogênio tem um maior tempo para desempenhar de forma efetiva, sua finalidade de oxidar e remover o amido e os pigmentos naturais presentes na fibra, colaborando para o aumento da capilaridade. Por isso, com o aumento do tempo e a diminuição da concentração de NaOH indica uma melhor capilaridade.

Figura 15: Gráfico de superfície dos fatores concentração de NaOH e tempo em relação a capilaridade no processo oxidativo



Fonte: Autoria própria (2023).

4.2.2 Análise do índice de brançura

No processo de desengomagem oxidativa foi verificada a influência dos fatores concentração de H₂O₂, concentração de NaOH e tempo na variável resposta índice de brançura. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10: Resultados obtidos do índice de brançura no processo oxidativo

Ensaio	Concentração de H ₂ O ₂ (ml/L)	Concentração de NaOH (g/L)	Tempo (min)	Índice de brançura 1	Índice de brançura 2	Média Índice de brançura
Cru	0	0	0	0	0	-2,49
1	2	20	20	48,59	46,67	47,63
2	10	20	20	58,71	58,79	58,75
3	2	40	20	48,99	48,25	48,62
4	10	40	20	59,84	50,96	55,4
5	2	20	60	54,73	54,22	54,475
6	10	20	60	64,80	61,45	63,125
7	2	40	60	55,50	49,95	52,725
8	10	40	60	62,89	61,70	62,295
9	6	30	40	55,94	-	-
10	6	30	40	56,07	-	-
11	6	30	40	55,06	-	-

Fonte: Autoria própria (2023).

Conforme Salem (2010), para a obtenção de um branco puro é necessário que o índice de brançura (WI) seja igual a 100, todavia para um tecido de algodão alvejado, a referência de um índice de brançura é na faixa de 79,8. Dentre os resultados obtidos em relação ao índice de brançura apresentados na Tabela 10, o ensaio 6 (63,125) foi o que apresentou o melhor índice de brançura, utilizando a maior concentração de H₂O₂, menor concentração de NaOH e maior tempo de processo, já o menor resultado foi do ensaio 1 (47,63) com os valores mínimos para todos os fatores.

Nota-se que os fatores concentração de H₂O₂ e tempo de processo foram o que diferiram de um ensaio para o outro, desse modo, com o aumento desses fatores, pode ocorrer de os íons peroxila gerados terem um maior tempo para penetrar na fibra e oxidar o pigmento natural do algodão de forma eficaz, permitindo obter um melhor índice de brançura (CHONG et al.,2014).

Na Tabela 11 são apresentados os efeitos das variáveis e o percentual de contribuição de cada uma delas para a resposta índice de brancura, obtidos por meio do *software Design-Expert 7.0*. Fez-se a seleção dos efeitos com maior contribuição, a fim de obter um modelo significativo, para a análise de variância (ANOVA).

Tabela 11: Efeito e percentual de contribuição para o índice de brancura no processo oxidativo

Termos	Efeito	Soma dos quadrados	Percentual de contribuição
A- Concentração de H ₂ O ₂	9,03	326,16	61,28
B-Concentração de NaOH	-1,23	6,09	1,15
C-Tempo	5,55	123,28	23,28
Interação AB	-0,85	2,92	0,55
Interação AC	0,079	0,025	0,004733
Interação BC	-0,057	0,013	0,002425
Curvatura	0,63	0,25	0,046

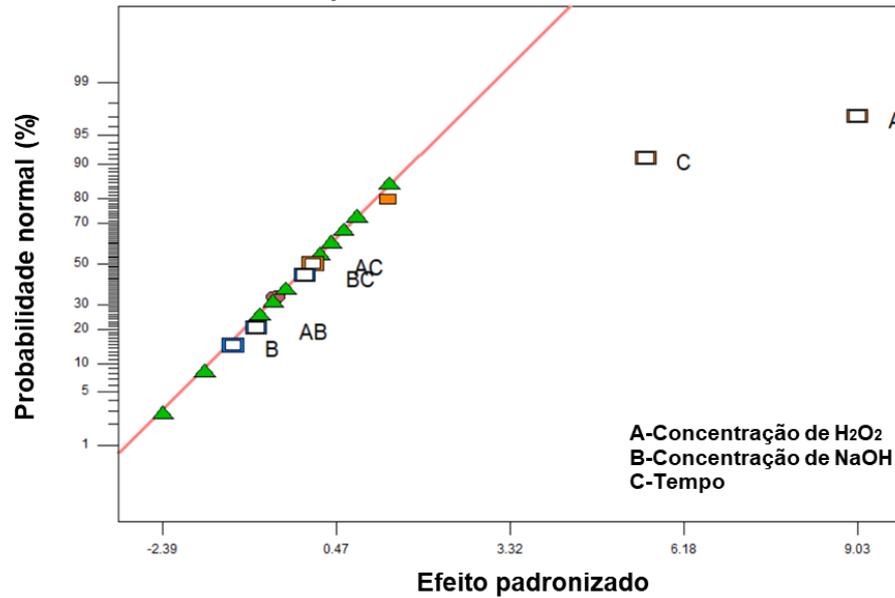
Fonte: Autoria própria (2023).

Observando a Tabela 11, nota-se que o termo que apresentou maior percentual de contribuição para o aumento do índice de brancura foi a concentração de H₂O₂, com 61,28%, seguido do tempo de processo, com 23,28%. O efeito positivo dos fatores indica que com o aumento dos mesmos, há um aumento no índice de brancura, como é o caso da concentração de H₂O₂, tempo e interação AC.

A verificação dos fatores significativos em relação ao índice de brancura baseou-se na análise do gráfico de probabilidade normal dos efeitos obtido pelo *software Design-Expert 7.0*, apresentado na Figura 16. Observa-se na Figura 16, que os fatores significativos para a variável resposta indicam ser a concentração de H₂O₂ e o tempo de processo.

Com o auxílio do *software Design-Expert 7.0* e os valores do índice de brancura apresentados na Tabela 10, foi possível verificar se houve diferença significativa entre os níveis dos fatores a partir da análise de variância (ANOVA). Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 12. Foi realizada, com estes resultados, uma análise baseada no valor-p, sendo que quando este valor for menor ou igual a 0,05 o efeito é considerado significativo sobre a variável resposta, caso contrário é não significativo.

Figura 16: Gráfico de probabilidade normal dos efeitos em relação ao índice de brancura do processo oxidativo



Fonte: Autoria própria (2023).

De acordo com a Tabela 12, o modelo proposto é considerado significativo e a falta de ajuste não significativa, mostrando que os dados se adequaram ao modelo. Os efeitos significativos para a variável resposta índice de brancura foram a concentração de H_2O_2 e o tempo.

Tabela 12: Nível de significância dos parâmetros no grau de alvura pela ANOVA no processo oxidativo

Fator	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	Valor F	Valor-p
Modelo	458,50	6	76,42	11,86	0,0003
A-Concentração de H_2O_2	326,16	1	326,16	50,61	<0,0001
B-Concentração de NaOH	6,09	1	6,09	0,95	0,3518
C-Tempo	123,28	1	123,28	19,13	0,0011
Interação AB	2,92	1	2,92	0,45	0,5145
Interação AC	0,025	1	0,025	0,00389	0,9514
Interação BC	0,013	1	0,013	0,001993	0,9652
Curvatura	0,25	1	0,25	0,038	0,8489
Residual	70,89	11	6,44	-	-
Falta de ajuste	6,93	1	6,93	1,08	0,3226
Erro puro	63,96	10	6,40	-	-
Total	529,64	18	-	-	-

Fonte: Autoria própria (2023).

O modelo apresentou um R^2 de 0,8661 indicando que 86,61% da variabilidade das repostas podem ser explicadas pela variação dos fatores apresentados. Após a análise da ANOVA, obteve-se a equação do modelo, Equação 4, apresentada a seguir:

Equação 4: Equação do modelo para o índice de brancura

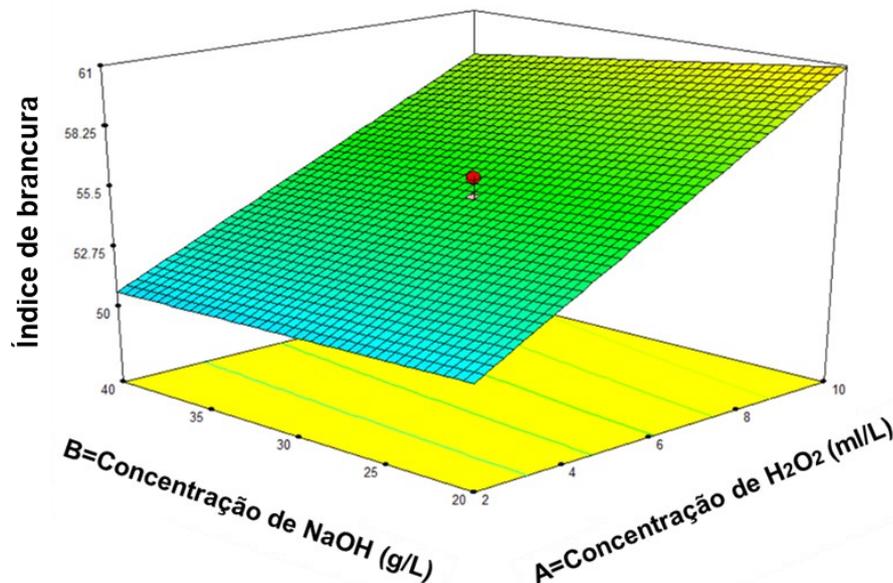
$$CIEW = 42,92833 + (1,42958 \times A) + (0,00808333 \times B) + (0,14007 \times C) - (0,010687 \times A \times B) + (0,000494792 \times A \times C) - (0,000141667 \times B \times C)$$

Fonte: Autoria própria (2023).

Em que CIEW = Índice de brancura, A = Concentração de H_2O_2 ($mL.L^{-1}$), B = Concentração de NaOH ($g.L^{-1}$) e C = Tempo (minutos).

Com a finalidade de analisar o comportamento do tecido desengomado pelo processo oxidativo em relação ao índice de brancura, conforme as condições de concentração de H_2O_2 , concentração de NaOH e tempo foram obtidos gráficos de superfície por meio do *software Design Expert 7.0*. Na Figura 17 é apresentada a curva de superfície contendo a variação dos fatores concentração de H_2O_2 e concentração de NaOH para analisar a influência dos mesmos no índice de brancura.

Figura 17: Gráfico de superfície dos fatores concentração de H_2O_2 e concentração de NaOH em relação ao índice de brancura no processo oxidativo

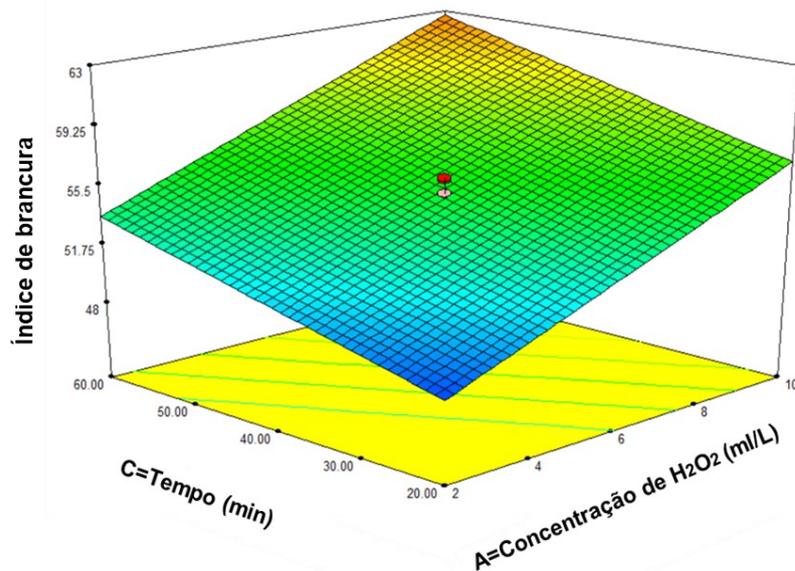


Fonte: Autoria própria (2023).

Observa-se na Figura 17, que o maior índice de brançura ocorreu em condições de maior concentração de H_2O_2 e menor concentração de $NaOH$. O peróxido de hidrogênio é responsável pela oxidação do amido e dos pigmentos naturais da fibra e, para que isso aconteça, é necessário a inserção do hidróxido de sódio para manter o banho alcalino, ativando a reação de decomposição do peróxido e hidrolisando o amido, saponificando os materiais graxos, realizando a purga (LIMA, 2022). Com isso, diminuir a concentração de hidróxido de sódio pode oferecer ao processo um pH adequado para ativar a reação do H_2O_2 (1), ajudar a minimizar o risco de danos das propriedades físicas da fibra de algodão, manter a eficácia da remoção da goma e ainda permitir que o peróxido de hidrogênio exerça o seu efeito de branqueamento.

Na Figura 18 é apresentada a curva de superfície contendo a variação dos fatores concentração de H_2O_2 e tempo de processo para analisar a influência no índice de brançura. Na curva de superfície é possível observar que o maior índice de brançura ocorreu quando os fatores concentração de H_2O_2 e tempo foram máximos. De acordo com Rodrigues (2019), com o aumento desses fatores há um tempo maior para a geração de íons peroxila na solução, colaborando com a degradação do pigmento natural presente na fibra de algodão, indicando um melhor índice de brançura.

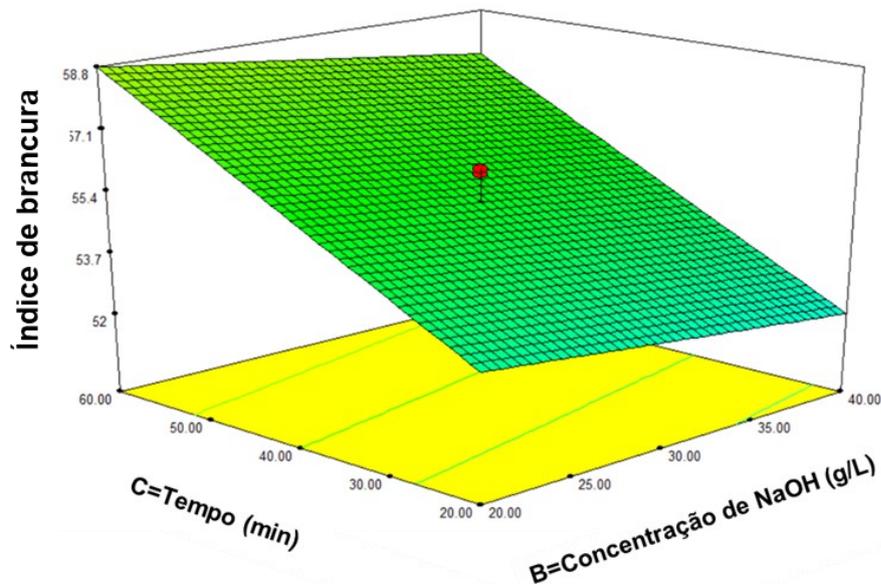
Figura 18: Gráfico de superfície dos fatores concentração de H_2O_2 e tempo em relação ao índice de brançura no processo oxidativo



Fonte: Autoria própria (2023).

Na Figura 19 é apresentada a curva de superfície contendo a variação dos fatores concentração de NaOH e tempo para analisar a influência no índice de brançura. Nota-se que o maior índice de brançura ocorreu quando diminuiu a concentração de NaOH e aumentou o tempo de processo e, como discutido anteriormente, com concentrações mais baixas de NaOH, é possível realizar um tempo de processo mais longo, permitindo uma ação gradual e controlada na oxidação da goma e pigmentos naturais da fibra, promovendo um aumento no índice de brançura do tecido, além de evitar o enfraquecimento excessivo da fibra e, assim, manter a integridade do tecido. Portanto, com o aumento do tempo de processo e redução da concentração do NaOH, aumenta não somente o índice de brançura, como a capilaridade do material pelo processo oxidativo.

Figura 19: Gráfico de superfície dos fatores concentração de NaOH e tempo em relação ao índice de brançura no processo oxidativo



Fonte: Autoria própria (2023).

Vale ressaltar que a condição de processo para atingir a melhor capilaridade e melhor índice de brançura foi a mesma, porém os fatores de contribuição para a capilaridade foram a concentração de NaOH e a interação AB ($H_2O_2 + NaOH$), já para o índice de brançura foram os fatores concentração de H_2O_2 e tempo de processo. Essas contribuições evidenciam as funções de cada fator para as variáveis respostas, ou seja, para a capilaridade, o hidróxido de sódio tem a finalidade de alcalinizar o banho e ativar a reação do H_2O_2 , hidrolisando o amido e saponificando os materiais graxos, propiciando uma melhor capilaridade (SENAI, 2018) e, para o índice de

brancura, um tempo de processo mais longo faz com que o peróxido de hidrogênio atue de forma mais eficaz na oxidação do amido e dos pigmentos naturais da fibra, proporcionando um melhor índice de brancura (OLIVEIRA et al.,2018).

4.3 Teste estatístico para comparação de médias

Após a análise de variância (ANOVA) e os modelos propostos considerados significativos, os resultados obtidos pelo teste de Tukey a nível de 5% de significância são apresentados na Tabela 13 e 14. É realizado com esses resultados, uma análise entre a diferença das médias de capilaridade e o valor DMS (Diferença Mínima Significativa), sendo que quando a diferença das médias for maior que o DMS, há uma diferença significativa entre si, caso contrário, são consideradas iguais. Para identificar as médias que são consideradas iguais, utiliza-se a mesma letra na classificação, caso haja uma diferença significativa entre as médias, utiliza-se letras diferentes na classificação.

Todos os ensaios, tanto do processo enzimático quanto do processo oxidativo, apresentaram diferença significativa em relação ao tecido cru, por isso são classificados com letras diferentes, evidenciando a remoção da goma e o aumento da capilaridade após o processo de desengomagem.

Tabela 13: Resultados obtidos pelo teste de Tukey da desengomagem enzimática

Ensaio	Concentração de enzima (%spm)	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Média Capilaridade (cm)	DMS	Classificação
3	0,1	30	50	8,55		a
8	3	30	85	8,35		a
4	3	30	50	8,15		a
6	3	5	85	7,80		a
7	0,1	30	85	7,80	1,493	a
1	0,1	5	50	7,60		a
2	3	5	50	7,35		a
5	0,1	5	85	7,30		a
Cru	0	0	0	0		b

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 14: Resultados obtidos pelo teste de Tukey da desengomagem oxidativa

Ensaio	Concentração de H ₂ O ₂ (ml/L)	Concentração de NaOH (g/L)	Tempo (min)	Média Capilaridade (cm)	DMS	Classificação
6	10	20	60	7,15		a
2	10	20	20	6,80		ab
7	2	40	60	6,70		ab
5	2	20	60	6,55		ab
1	2	20	20	6,45	1,145	ab
8	10	40	60	6,35		ab
3	2	40	20	6,30		ab
4	10	40	20	5,90		b
Cru	0	0	0	0		c

Fonte: Autoria própria (2023).

De acordo com a Tabela 13, é possível observar que a diferença das médias entre todos os ensaios é menor que o valor DMS, portanto não possuem diferença significativa entre si e recebem a mesma letra na classificação, letra “a”.

Observa-se na Tabela 14, que a diferença das médias entre os ensaios 6, 2, 7, 5, 1, 8 e 3, é menor que o valor DMS, logo não possuem diferença significativa entre si e recebem a mesma letra na classificação, letra “a”. Com relação a diferença das médias entre o ensaio 6 e o ensaio 4, é maior que o valor DMS, indicando que há diferença significativa entre si e por isso são classificadas com letras diferentes, letra “a” para o ensaio 6 e letra “b” para o ensaio 4. Por fim, a diferença das médias entre os ensaios 2, 7, 5, 1, 8, 3 e 4, é menor que o valor DMS, portanto não possuem diferença significativa entre si e recebem a mesma letra na classificação, letra “b”.

Para a desengomagem enzimática, o ensaio 3 foi o que apresentou o maior valor médio de capilaridade (8,55 cm) e para a desengomagem oxidativa, foi o ensaio 6 (7,15 cm). Tendo em vista o maior valor de DMS obtido (1,493 cm), a diferença das médias entre esses ensaios é menor que o valor DMS, sendo assim, indica que não há diferença significativa entre os processos de desengomagem.

Desse modo, por mais que o processo oxidativo realiza de forma conjunta três etapas, sendo eles: desengomagem, purga e alveamento, economizando tempo de processo, não apresentou a mesma eficiência na remoção da goma comparado ao processo enzimático, além de ser um processo ambientalmente mais agressivo devido

a utilização de agentes químicos e de exigir um controle rigoroso de processo para evitar danos a fibra.

O uso das enzimas no processo de desengomagem tem sido uma forma de suavizar as condições químicas agressivas, visando diminuir os impactos causados nas fibras e, sobretudo, diminuir os poluentes no meio ambiente, além de apresentar resultados melhores em relação a capilaridade do material e, em processos posteriores de tingimento, estamparia e acabamento (MARROQUES, 2020).

Conforme Salem (2010), uma excelente preparação é essencial para processos posteriores que envolvem cores, isto é, uma boa uniformidade, hidrofiliidade e remoção total de gomas, sujidades, graxas e óleos, são condições de processos fundamentais para a obtenção de produtos de ótima qualidade, evitando reprocessos e procedimentos caros que muitas vezes não fornecem bons resultados.

Vale ressaltar que como não há diferença significativa entre as amostras do processo enzimático, é possível utilizar qualquer condição de processo.

4.4 Análise colorimétrica

Após o processo de tingimento utilizando as melhores condições de capilaridade obtida por meio da desengomagem enzimática e oxidativa, é realizado com os resultados obtidos por meio das leituras espectrofotométricas, uma análise colorimétrica baseada na coordenada b^* (eixo cromático amarelo-azul) e no ΔE^* (diferença de cor) devido a utilização no processo de tingimento do corante reativo azul BG-R. Dessa forma, quando a coordenada b^* apresentar um valor positivo, significa que a amostra está predominantemente amarelada, caso for negativo, está predominantemente azulada e, quanto maior for o valor de ΔE^* , maior a diferença de cor entre a amostra e o padrão, isto é, mais tinto a amostra está (OTAVIANO, 2021). Na Tabela 15 é apresentada os resultados obtidos por meio da análise colorimétrica.

Observa-se na Tabela 15 que a amostra 2 apresentou o maior valor médio da coordenada b^* (-37,14), onde passou pelo processo de desengomagem enzimática, purga, alvejamento e tingimento, indicando que está predominantemente mais azulada em relação as demais amostras. Para o ΔE^* , a amostra 2 também apresentou o maior valor médio (66,66), indicando uma maior diferença entre o tecido padrão cru e amostra analisada, ou seja, mais tinto a amostra 2 está em relação as demais amostras.

Tabela 15: Resultados obtidos por meio da análise colorimétrica

Amostras	L*1	L*2	Média L*	a*1	a*2	Média a*	b*1	b*2	Média b*	$\Delta E^* 1$	$\Delta E^* 2$	Média ΔE^*
Cru (padrão)	85,22	-	-	2,32	-	-	13,96	-	-	0,00	-	-
1	47,88	45,53	46,71	-2,00	-0,72	-1,36	-32,75	-34,21	-33,48	64,02	65,95	64,99
2	45,53	51,99	52,52	-1,08	-1,48	-1,28	-37,69	-36,58	-37,14	67,28	66,04	66,66
3	53,75	54,12	53,94	-1,40	-1,70	-1,55	-35,40	-34,75	-35,08	64,78	64,11	64,45

Legenda:

Amostra 1: Desengomagem enzimática sem purgar e sem alvejar;

Amostra 2: Desengomagem enzimática com purga e alvejamento;

Amostra 3: Desengomagem oxidativa.

Fonte: Autoria própria (2023).

Esses resultados indicam que, a desengomagem enzimática utilizando as condições de menor concentração de enzima, maior tempo e menor temperatura, seguida dos processos de purga e alvejamento proporcionam uma maior remoção da goma, das impurezas presentes na fibra por meio da purga e da coloração amarelada do artigo têxtil por meio do alvejamento, com isso promovem uma melhor hidrofiliabilidade, eficiência da purga e alvejamento e, conseqüentemente um melhor tingimento no tecido de algodão (SENAI, 2015; ANNEPU, 2015).

5 CONCLUSÃO

Após a análise dos resultados, conclui-se ser importante a realização de um bom processo de desengomagem, seguido de purga e alveamento, para uma maior remoção da goma, impurezas e pigmentos naturais do material.

A utilização do planejamento fatorial 2^3 mostrou-se eficiente na análise do processo de desengomagem, sendo que para a capilaridade, o tempo de processo foi a variável que apresentou maior influência na desengomagem enzimática e, a concentração de NaOH e o tempo de processo foram as variáveis que apresentaram maior influência na desengomagem oxidativa. Já para o índice de brancura, a concentração de H_2O_2 e o tempo de processo foram as variáveis que apresentaram maior contribuição na desengomagem oxidativa.

A análise colorimétrica apresentou resultados esperados, evidenciando a importância da realização dos processos de desengomagem, purga e alveamento, a fim de preparar o material para os tratamentos subsequentes como tingimento.

Deste modo, para continuidade do trabalho e obtenção de melhores resultados, algumas sugestões são dadas:

- Realização do processo por gotejamento de solução de iodo e iodeto de potássio após o processo de desengomagem, para reagir com o amido presente no substrato e verificar a eficácia dos processos;
- Um estudo do processo de desengomagem oxidativa adotando mais parâmetros a serem analisados, como a temperatura e o pH;
- Estudos em concentrações maiores do processo de desengomagem oxidativa, para verificar o aumento do índice de brancura, levando em consideração a não degradação da fibra;
- Análise da perda de resistência em ambos processos.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, Catia Rosana Lange (org.). et al. **ENGENHARIA TÊXTIL: uma abordagem simplificada**. Florianópolis: Editora da UFSC. 311 p. ISBN: 9786558050513. 2022.
- ALCÂNTARA, M. R.; DALTIM, D. A Química do Processamento Têxtil. **Química Nova**, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 320-330, 1996.
- ANNEPU, Ashish Kumar. **Preparatory Processes Subject – Dyeing and Printing**. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/37660996/Preperatory-Processes>, 2015. Acesso em: 17 de março de 2022.
- ARAÚJO, M.; CASTRO, E.M. de M. Manual de Engenharia Têxtil. **Fundação Calouste Gulbenkian**, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO. **O setor têxtil e de confecção e os desafios da sustentabilidade**. Confederação Nacional da Indústria. Brasília. 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO. **Perfil do setor**. Fevereiro, 2022. Disponível em: <https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acesso em: 05 de outubro de 2022.ab
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR: 13370**. Nãotecido: Terminologia. 2017.
- BAYER, Agro Brasil. **Conhecendo os indicadores de qualidade da fibra do algodão**. São Paulo. 2020. Disponível em: <https://www.agro.bayer.com.br/mundo-agro/agropedia/conhecendo-os-indicadores-de-qualidade-da-fibra-do-algodao>. Acesso em: 11 de março de 2023.
- BELTRAME, L. T. C. **Caracterização de efluente têxtil e proposta de tratamento**. 2000. 161 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2000.
- BEZERRA, RAQUEL N.; ARAÚJO, MAURÍCIO C.; BARROS, AMANDA A.R.C.; Tambourgi, Elias B.; Fileti, Ana M.F.; Rosa, Jorge M.; Santana, José C.C. **Alfa-Amilase ou Peróxido de Hidrogênio? Vantagens e desvantagens dos processos de desengomagem em tecidos de algodão 100%**. XX Simpósio Nacional de Bioprocessos. XI Simpósio de Hidrólise Enzimática de Biomassa. Fortaleza- CE. 2015.
- CEGARRA, José. **Fundamentos y Tecnología del Blanqueo de Materias Textiles**. Ediciones Universitat Politècnica de Catalunya, Terrassa. 1997.
- CHONG, Yin. ET AL. **Low-Temperature bleaching of cotton fabric using a copper-based catalyst for hydrogen peroxide**. Colorated Tecnology, China, 2014.
- CIE – Comissão Internationale de l'Éclairage. **Colorimetry – technical report**. CIE Publication, n. 15, 2. ed. Vienna: Bureau Central de la CIE; 1986.
- CLARK, M. (Ed.). **Handbook of Textile and Industrial Dyeing: Applications of Dyes**. Elsevier, 2011.

COELHO, M.A.Z.; SALGADO, A. M.; RIBEIRO, B. D. **Tecnologia enzimática**. p. 8, 2008. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=3Bay-65s-WYC&oi=fnd&pg=PP9&dq=defini%C3%A7%C3%A3o+de+enzima&ots=AekJNOFI62&sig=I7wH0VXEJhGbhUDi0ssqxpumZJc&redir_esc=y#v=onepage&q=defini%C3%A7%C3%A3o%20de%20enzima&f=true. Acesso em: 09 de novembro de 2022.

CUSTÓDIO, Gilberto Filipe Gomes. **Análise do grau de branco e resistência obtido em tecido de algodão alvejado com peróxido de hidrogênio**. 2019 35. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Têxtil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana – 2019.

DAS, D.; PATRA, A. K.; JAKHAR, R.; SUNDER, S. **Electrochemical bleaching of cotton**. *Indian Journal Of Fibre & Textile Research*. Bhiwani, v. 41, n. 2, p. 217-220, 2016.

DNFI - Discover Natural Fibres Initiative. **World natural fibre update april 2023**. Disponível em: <https://dnfi.org/dnfi-world-natural-fibre-update-april-2023>. Acesso em: 16 de abril de 2023.

FERREIRA, F. C. S. **Avaliação dos efeitos da aplicação da enzima celulase nas propriedades de substratos têxteis de algodão**. Universidade Federal de Santa Catarina, programa de Pós-Graduação Engenharia Química, Florianópolis, 2012.

FREITAS, Kátya Regina. **Caracterização e reuso de efluentes do processo de beneficiamento da indústria têxtil**. Universidade Federal De Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Engenharia Química. Florianópolis, 2002.

FURLAN, F. R., **Caracterização e aplicação de enzimas de forma combinada na biopreparação de tecidos felpudos de algodão**. Pós-Graduação em Engenharia Química na Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

FURLONG, E. B. **Bioquímica: um enfoque para alimentos**. 1ª edição. Rio Grande: EDGRAF Editora e Gráfica da Fundação Universidade Federal do Rio Grande, 2000. 172 p.

HARGER, C.; SPRADA, D; HIRATSUKA, E. **Amilase Fúngica**. In: *Bioquímica das Fermentações*, 1982. 56 p.

JACQUES, S. M. C. **Bioestatística: princípios e aplicações**. 1ª Edição. Editora Artmed, 2003.

JAPANESE STANDARDS ASSOCIATION. **JIS L 1907: Test methods for water absorbency of textiles**. Tokyo. 2004.

KOLANJIKOMBIL, Mathews. **Pretreatment of Textile Substrates**. New Delhi Woodhead Publishing India, 2019.

LIMA, Gabryelle Nayanne Andrade De. **Controle de processos no beneficiamento primário de uma indústria têxtil: estudo da interferência das concentrações de peróxido de hidrogênio e soda cáustica no processo de desengomagem oxidativa**. Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2022. 63 f.: il.

LOBO, Renato Nogueiro; LIMEIRA, Erika Thalita Navas Pires, MARQUES, Rosiane do Nascimento. **Fundamentos da tecnologia têxtil: da concepção da fibra ao processo de estamparia**. 1. ed. São Paulo, 2014.

MAGALHÃES, M. J. M. A. R. **Indução plasmática da mercerização em materiais celulósicos**. Tese em doutoramento em Engenharia Têxtil. Universidade do Minho. Janeiro, 2007.

MALUF, E.; KOLBE, W. **Dados Técnicos para a Indústria Têxtil**. 2nd ed., São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2003.

MANENTI, Diego Ricieri. **Tratamento de efluente têxtil utilizando o processo fotofenton**. 2011. 158 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2011.

MARROQUES, Júlia Cruz. **Aplicação de enzimas na indústria têxtil**. Universidade Federal de Uberlândia. Curso de graduação em Engenharia Química. Uberlândia, Minas Gerais, 2020.

MEDEIROS, G. A.; GONÇALVES, S. B.; RODRIGUES, D. S.; NETO, B. A. D. Enzimas e Líquidos Iônicos: **Uma Combinação Promissora para um Biodiesel Limpo**. Revista Virtual de Química, v. 5, n. 1, p.74-94, 2013.

MOJSOV, K. **Enzymatic desizing, bioscouring and enzymatic bleaching of cotton fabric with glucose oxidase**. The Journal of The Textile Institute. 2018. DOI: 10.1080/00405000.2018.1535240.

MONTEIRO, V. N; SILVA, R. N. **Aplicações Industriais da Biotecnologia Enzimática**. Revista Processos Químicos, Jan/ Jun de 2009.

NEEDLES, Howard L. **Textile Fibers, Dyes, Finishes, and Processes**. 1ª Edição. Califórnia Edited by Gordon, 1986.

NEVES, J. **Manual de Estamparia Têxtil**. Guimarães: Direção Editorial da Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Portugal, 2000.

OLIVEIRA, Bruno P.; MORIYAMA, Lilian T.; BAGNATO, Vanderlei S. **Colorimetric Analysis os Cotton Textile Bleaching through H2O2 Activated by UV Light**. J. Braz. Chem. Soc.0´ç;., Vol. 29, No. 6 - 2018, Sociedade Brasileira de Química.

OLIVEIRA, Eduardo Alves de. **Otimização de processos em indústria têxtil**. Universidade Estadual de Maringá, PR, 2013.

OTAVIANO, B. T. H. **Estudo das propriedades de tingimento, ação bacteriana e fotopretetora do extrato das cascas de romã (*Punica granatum L.*) aplicado em tecido de algodão**. Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo. Programa de Pós-Graduação em Têxtil e Moda. São Paulo, 2021.

PEZZOLO, D. B. **Tecidos - histórias, tramas, tipos e usos**. São Paulo: Senac São Paulo. 2007.

PICCOLI, H. H. **Processo de alvejamento de tecido de malha de algodão utilizando ozônio com baixo consumo de água**. Engenharia Química. Universidade Federal de Santa Catarina. 2014.

RINGE, Dagmar; PETSKO, Gregory A. How enzymes work. **SCIENCE-NEW YORK THEN WASHINGTON-**, v. 320, n. 5882, p. 1428, 2008.

ROCHA, Jéssica Horacina Bezerra. **Tecnologia eletroquímica como tratamento alternativo de efluentes têxteis sintéticos utilizando ânodos de platina e diamante**. 2011. 89 f. Monografia (Especialização) - Curso de Química, Programa de Pós-graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

RODRIGUES, Beatriz Gomes. **Estudo da influência da luz ultravioleta no alveijamento de malha de algodão**. 2019. 32. Trabalho de Conclusão de Curso Engenharia Têxtil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana – 2019.

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

SANTOS, F. A.; QUEIRÓZ, J. H.; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, V. M.; REZENDE, S. T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**, v. 35, n. 5, p.1004-1010, 2012.

SENAI, Sistema Nacional de Aprendizagem Industrial. **Beneficiamento Têxtil**. 1ª Edição. São Paulo – Editora SENAI, 2015.

SENAI, Sistema Nacional de Aprendizagem Industrial. **Processos Produtivos Têxteis**. 1ª Edição. São Paulo – Editora SENAI, 2016.

SENAI, Sistema Nacional de Aprendizagem Industrial. **Beneficiamento Têxtil**. E-book. 1ª Edição. São Paulo – Editora SENAI, 2018. Disponível em: https://www.google.com.br/books/edition/Beneficiamento_t%C3%AAxtil/Os5MDwAAQBAJ?hl=pt-BR&gbpv=1&dq=senai+beneficiamento+livro&printsec=frontcover. Acesso em: 09 de novembro de 2022.

SHUVO, Ikra Iftekhar. **Fibre attributes and mapping the cultivar influence of different industrial cellulosic crops (cotton, hemp, flax, and canola) on textile properties**. Bioresour. Bioprocess., vol. 7, no. 51, pp. 1–28, 2020, doi: 10.1186/s40643-020-00339-1.

SILVA, Caroline Alves. **Estudo comparativo entre a purga convencional e a purga enzimática**. 2019.38. Trabalho de Conclusão de Curso Engenharia Têxtil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana – 2019.

SILVA, G. B. **Tolerância de cor na indústria têxtil**. Rio de Janeiro, 2004, p. 509-510.

SILVA, L. G. M. **Biopurga de Malha de Algodão Utilizando Processo Enzimático com Associação de Enzimas**. P.130, 2013.sil

SILVA, M. L. da. **Estudo da bioeletrocatalise de oxidação de etanol utilizando extrato bruto de sementes de Helianthus annuus como fonte de álcool desidrogenase**. Universidade Federal De Goiás, Instituto de Química. Goiânia. 2011.

SOUZA P.M; MAGALHÃES O.P. **Application of microbial α amylase in industry**. A review- Brazilian Journal of microbiology. v.41 p.850-861,2010

TAVARES, C. A. G. **Maximização do rendimento colorístico no processo de branqueio por PAD-STEAM**. Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, ISEP, Porto, 2017.

TIMAR-BALÁZSY, A.; EASTOP, D. **Chemical Principles of Textile Conservation**. Butterworth Heinemann, England, p. 444, 1998.

TOMASINO, Charles. **Chemistry & Technology of Fabric Preparation & Finishing**. Editora Copyright, Washington DC, 1992.