

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

**CAROLINE ALVES DA SILVA**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE A PURGA CONVENCIONAL E A  
PURGA ENZIMÁTICA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II**

**APUCARANA  
2019**

**CAROLINE ALVES DA SILVA**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE A PURGA CONVENCIONAL E A PURGA  
ENZIMÁTICA**

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

**Orientadora:** Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Dayane Samara De Carvalho Coltre

**APUCARANA  
2019**



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



### **TERMO DE APROVAÇÃO**

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

**Estudo comparativo entre a purga convencional e a purga enzimática**

por

CAROLINE ALVES DA SILVA

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

---

PROFESSOR(A) DAYANE SAMARA DE CARVALHO COLTRE – ORIENTADORA

---

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

---

PROFESSOR(A) FABIO ALEXANDRE PEREIRA SCACCHETTI – EXAMINADOR(A)

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

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.

## RESUMO

O beneficiamento primário têxtil trata de um conjunto de operações que visam preparar o substrato têxtil para os processos de tingimento e acabamento. Uma das operações realizadas é o processo de purga, cujo objetivo principal é remover óleos, gorduras e outras impurezas intrínsecas das fibras. Para atingir tal objetivo, é possível realizar processos mediante a utilização de agentes químicos, os quais podem ser agressivos tanto às fibras quanto ao meio ambiente. Entretanto, atualmente, também é possível utilizar processos de purga enzimática, ou seja, são utilizadas enzimas que possuem alta especificidade e, assim, reagem apenas com as impurezas, não causando danos à fibra, permitindo que o processo de purga seja realizado de forma mais amena em relação ao processo convencional. Diante disto, o objetivo deste trabalho foi comparar os resultados obtidos em malha 100% algodão purgados por processos convencional e enzimático e analisar a influência dos fatores tempo, temperatura e concentração nestes processos. Dentre os fatores apresentados a temperatura apresentou maior influência em relação à capilaridade tanto nos processos alcalinos quanto nos processos enzimáticos. A purga enzimática demonstrou vantagens em comparação ao processo convencional, pois apresentou melhores resultados de capilaridade em condições de temperatura e tempo menores.

**Palavras-chave:** Beneficiamento Têxtil. Purga alcalina. Purga enzimática.

SILVA, Caroline Alves. **COMPARATIVE STUDY BETWEEN THE CONVENTIONAL SCOURING AND THE ENZYMATIC SCOURING**. 2019.38. Course Completion Work Textile Engineering, Federal technological University of Paraná- Apucarana – 2018.

### **ABSTRACT**

The primary textile processing deals with a set of operations that aim to prepare the textile substrate for the dyeing and finishing processes. One of the operations carried out is the scouring process, whose main objective is to remove oils, fats and other intrinsic impurities from the fibers. To achieve this goal, it is possible to carry out processes using chemical agents, which can be aggressive to both the fibers and the environment. However, nowadays, it is also possible to use enzymatic scouring processes, that is, enzymes that have high specificity are used and, therefore, react only with the impurities, not causing damage to the fiber, allowing the cleaning process to be carried out in a milder way than the conventional one. In view of this, the objective of this work was to compare the results obtained in 100% cotton mesh fabrics scoured by conventional and enzymatic processes and analyze the influence of factors time, temperature and concentration on these processes. Among the factors presented, temperature had the greatest influence in relation to capillarity in both alkaline and enzymatic process. The enzymatic scouring has shown advantages over conventional process, because it presented better capillarity results in lower temperature and time conditions.

**Keywords:** Textile processing. Alkaline scouring. Enzymatic scouring.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Estrutura da cadeia produtiva têxtil. . . . .	4
Figura 2 –	Representação esquemática da estrutura morfológica da fibra de algodão. . . . .	6
Figura 3 –	Mecanismo de Saponificação. . . . .	8
Figura 4 –	Mecanismo de Emulsificação. . . . .	9
Figura 5 –	Estrutura de uma enzima pectinase. . . . .	10
Figura 6 –	Esquema do sítio ativo e substrato. . . . .	11
Figura 7 –	Gráfico do processo de purga alcalina. . . . .	16
Figura 8 –	Gráfico do processo de purga enzimática. . . . .	17
Figura 9 –	Ensaio de capilaridade. . . . .	18
Figura 10 –	Probabilidade Normal dos efeitos em relação à capilaridade na purga alcalina. . . . .	21
Figura 11 –	Curva de superfície dos fatores tempo e temperatura em relação à capilaridade na purga alcalina. . . . .	22
Figura 12 –	Curva de superfície dos fatores tempo e concentração de NaOH em relação à capilaridade na purga alcalina. . . . .	23
Figura 13 –	Curva de superfície dos fatores temperatura e concentração de NaOH em relação à capilaridade na purga alcalina. . . . .	25
Figura 14 –	Probabilidade Normal dos efeitos em relação à capilaridade na purga enzimática. . . . .	27
Figura 15 –	Curva de superfície dos fatores tempo e temperatura em relação à capilaridade na purga enzimática. . . . .	28
Figura 16 –	Curva de superfície dos fatores tempo e concentração do composto enzimático em relação à capilaridade na purga enzimática. . . . .	29
Figura 17 –	Curva de superfície dos fatores temperatura e concentração do composto enzimático em relação à capilaridade na purga enzimática. . . . .	30

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Planejamento Fatorial para a purga alcalina. . . . .	15
Tabela 2 –	Planejamento Fatorial para a purga enzimática. . . . .	15
Tabela 3 –	Resultados obtidos no planejamento fatorial da purga alcalina. . . . .	19
Tabela 4 –	Efeito principal e porcentual de contribuição das variáveis sobre a capilaridade na purga alcalina. . . . .	20
Tabela 5 –	Nível de significância dos parâmetros pela ANOVA da purga alcalina. . . . .	21
Tabela 6 –	Resultados obtidos no planejamento fatorial da purga enzimática. . . . .	25
Tabela 7 –	Efeito principal e porcentual de contribuição das variáveis sobre a capilaridade na purga enzimática. . . . .	26
Tabela 8 –	Nível de significância dos parâmetros pela ANOVA da purga enzimática. . . . .	27
Tabela 9 –	Maiores valores médios de capilaridade da purga alcalina. . . . .	31
Tabela 10 –	Maiores valores médios de capilaridade da purga enzimática. . . . .	31

## **LISTA DE SIGLAS**

ABQCT	Associação Brasileira de Químicos e Coloristas Têxteis
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
ANOVA	Análise de Variância



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	1
1.2 OBJETIVOS .....	2
1.2.1 Objetivo Geral.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos .....	2
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>4</b>
2.1 INDÚSTRIA E PROCESSOS TÊXTEIS .....	4
2.2 FIBRAS .....	5
2.3 BENEFICIAMENTO .....	6
2.4 BENEFICIAMENTO PRIMÁRIO.....	7
2.5 PURGA .....	8
2.6 ENZIMAS .....	10
2.7 BIOPURGA .....	11
2.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	11
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>15</b>
3.1 MATERIAIS.....	15
3.2 PLANEJAMENTO FATORIAL PARA OS PROCESSOS DE PURGA.....	15
3.3 PURGA ALCALINA .....	16
3.4 PURGA ENZIMÁTICA.....	17
3.5 CAPILARIDADE .....	17
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>19</b>
4.1 4.1 PLANEJAMENTO FATORIAL PARA A PURGA ALCALINA.....	19
4.2 PLANEJAMENTO FATORIAL PARA A PURGA ENZIMÁTICA .....	25
4.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS DOIS PROCESSOS .....	30
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	<b>33</b>
<b>6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>34</b>



## 1. INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva têxtil tem início nas fibras e compreende vários processos até a obtenção do produto final. Dentre esses processos, o beneficiamento têxtil consiste numa série de etapas que objetivam melhorar as características das fibras, fios e tecidos, conferindo propriedades aos mesmos de acordo com a exigência do consumidor final (PEZZOLO, 2013).

Dentre as etapas do beneficiamento têxtil tem-se o beneficiamento primário, no qual o tecido é preparado para receber o tingimento e o acabamento, removendo impurezas contidas no tecido por meio de uma série de processos, físicos, químicos e mecânicos. Os processos a serem realizados dependem do tipo fibra e/ou do produto final desejado (SENAI, 2016).

A purga é uma das etapas do beneficiamento primário em que os constituintes hidrofóbicos (ceras e gorduras) e outros compostos não celulósicos (pectinas, proteínas e ácidos orgânicos) são removidos da fibra de algodão (PIMENTEL, 2010). Convencionalmente, o processo é realizado a partir do tratamento do substrato com hidróxido de sódio a altas temperaturas (SILVA, 2013b).

Embora a purga seja um processo efetivo, a mesma não é um processo ecologicamente viável, devido ao alto consumo de água, energia e produtos químicos, resultando em grandes quantidades de efluentes. Assim, a fim de minimizar a geração de efluentes industriais com elevada carga de produtos químicos, tem-se introduzido enzimas na remoção de impurezas da celulose (FERREIRA, 2012). As enzimas são biocatalisadores que apresentam alta especificidade, removendo apenas as impurezas das fibras, portanto além de diminuir a carga de produtos químicos nos efluentes, a utilização de enzimas no processo da purga diminui os danos causados às fibras (CAVACO; GÜBTIZ, 2003).

### 1.1 JUSTIFICATIVA

O processo têxtil utiliza muitos insumos químicos, sendo que de acordo com sua relação estabelecida com o meio ambiente esses produtos podem ser classificados como produtos agressivos ou produtos menos nocivos. Os primeiros

abrangem os álcalis, ácidos, oxidantes e redutores, que ocasionam degradação da superfície da fibra e impacto considerável de contaminação ao meio ambiente. Os demais consistem em produtos que não agredem as fibras e nem o meio ambiente, sendo utilizados, principalmente, nas etapas de pré-tratamento, como desengomagem, purga e alvejamento. Esses procedimentos correspondem, por exemplo, à utilização de enzimas, que atuam sob condições mais brandas (CEGARA, 2000). Desta forma, a substituição de produtos químicos por enzimas em alguns processos têxteis pode reduzir o impacto ambiental além dos danos causados às fibras.

Assim, devido a crescente preocupação com o meio ambiente, têm-se substituído produtos químicos por enzimas em diferentes etapas do beneficiamento primário têxtil. Dentre os diferentes processos realizados no pré-tratamento, tem-se a purga que, quando realizada com a utilização das enzimas, é denominada biopurga, sendo responsável por obter tecidos de fibras naturais com boas propriedades físicas, químicas e mecânicas (GÜBITZ, 2003).

Comparada ao processo de purga convencional, a biopurga é realizada sob condições mais amenas, ou seja, o consumo de água e de energia é menor e, conseqüentemente, há uma menor quantidade de efluente gerado. Além disso, as enzimas não danificam as fibras durante o processamento.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é comparar os resultados obtidos em malha 100% algodão purgadas por processos convencional e enzimático, analisando a capilaridade por meio de um planejamento fatorial  $2^3$ .

### 1.2.2 Objetivos Específicos

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

- Estabelecer as variáveis que interferem no processo;
- Realizar um planejamento fatorial;

- Analisar a influência dos parâmetros concentração de hidróxido de sódio, temperatura e tempo no processo de purga convencional em malha 100% algodão, por meio de um planejamento fatorial  $2^3$ ,
- Analisar a influência dos parâmetros concentração da composição enzimática, temperatura e tempo no processo de purga enzimática em malha 100% algodão, por meio de um planejamento fatorial  $2^3$ ,
- Fazer uma comparação dos resultados obtidos nos dois processos.
- Estabelecer quais as vantagens do processo enzimático.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 INDÚSTRIA E PROCESSOS TÊXTEIS

A cadeia produtiva têxtil compreende os processos de obtenção de fibras, fios e tecidos, além do beneficiamento destes substratos e da confecção. Assim, em cada etapa do processo têxtil ocorre a transformação da matéria-prima em subprodutos até a conclusão do produto final e a sua comercialização (SENAI, 2016). Na Figura 1 é apresentado um fluxograma básico da indústria têxtil:

**Figura 1** – Estrutura da cadeia produtiva têxtil.



Fonte: Autor (2019).

A fibra é a matéria-prima inicial da cadeia têxtil, sendo que a partir desta são fabricados os fios, por meio do processo de fiação (SENAI, 2015). O fio é a matéria-prima dos processos de tecelagem e malharia. Assim, na tecelagem é obtido o tecido plano, o qual é resultante do entrelaçamento de dois conjuntos de fios, trama e urdume, os quais se cruzam perpendicularmente. Enquanto que na malharia, a malha é obtida pela formação de laçadas, ou seja, a mesma é formada pelo entrelaçamento de um fio consigo mesmo, denominado trama, ou de vários fios longitudinais, denominado urdume (SENAI, 2016).

O Não tecido conforme NBR13370 (2002) é definido como uma estrutura plana, flexível e porosa constituída de véu ou manta de fibras ou filamentos orientados direcionalmente ou ao acaso, consolidadas por processo mecânico (fricção) e/ou químico (adesão) e/ou térmico (coesão) ou combinação destes.

O beneficiamento têxtil é etapa cuja finalidade é melhorar as características físico-químicas do substrato têxtil, independente da forma em que se encontra (fibra, fio ou tecido). Já a confecção é a última etapa da cadeia têxtil, sendo que neste processo o tecido será transformado no produto final (PEZZOLO, 2013).

## 2.2 FIBRAS

Fibra têxtil é toda matéria que por sua alta relação entre seu comprimento e seu diâmetro, e ainda, por suas características de flexibilidade, suavidade, elasticidade, resistência, tenacidade e finura, está apta às aplicações têxteis (CONMETRO, 2008).

Estes materiais são classificados conforme sua origem, sendo compreendidos em fibras de origem natural e fibras manufaturadas (ARAÚJO; CASTRO, 1986). As fibras naturais são subdivididas de acordo com a sua origem, podendo ser vegetal, animal ou mineral, enquanto as fibras manufaturadas, também conhecidas como fibras químicas, podem ser subdivididas em fibras artificiais ou sintéticas. No caso das fibras artificiais, as mesmas são obtidas a partir de transformações da celulose, como a viscose e o acetato, enquanto as fibras sintéticas são derivadas de subprodutos do petróleo, como a poliamida, o elastano e o poliéster (OLIVEIRA, 1997).

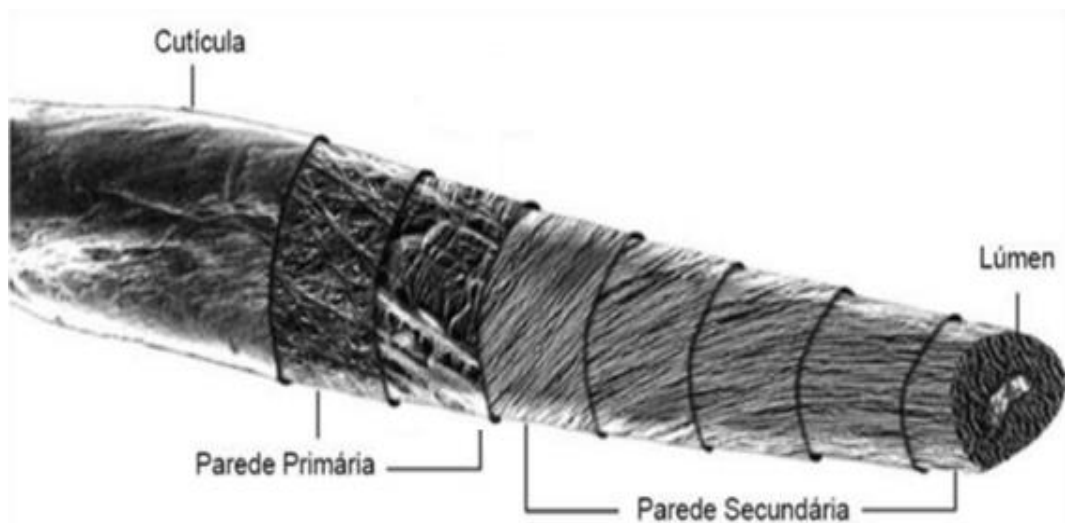
Dentre os diversos tipos de fibras existentes, o algodão representa cerca de 30% do consumo total, sendo o carro chefe das exportações da cadeia de produção têxtil brasileira (ZEFERINO, 2017). Seu alto consumo ocorre devido suas qualidades intrínsecas relacionadas ao conforto, maciez e durabilidade, além de sua versatilidade, que permite sua combinação com outras fibras (PEZZOLO, 2013).

As fibras de algodão apresentam de 6 a 10% de impurezas naturais, entre estas impurezas estão as pectinas, gorduras e ceras, proteínas, entre outros materiais. Essas impurezas fazem com que fibra de algodão tenha baixa hidrofiliidade, o que causará problemas nos processos subsequentes de

beneficiamento primário, tingimento e acabamento do artigo (KALANTZI et al., 2008).

Do ponto de vista estrutural, as fibras de algodão são divididas em: cutícula, camada primária, camada secundária e lúmen (LEWIN, 2007). Na Figura 2 é apresentada esta estrutura da fibra de algodão.

**Figura 2** – Representação esquemática da estrutura morfológica da fibra de algodão.



Fonte: Adaptado Lewin (2007).

A cutícula é a parte mais externa da fibra, sendo constituída por ceras, gorduras, proteínas e pectinas (SHORE, 1995), sendo que as ceras e pectinas responsáveis pelo caráter hidrofóbico do algodão que impede um tingimento uniforme eficiente (LIN; HSIEH, 2001). Já a parede primária é constituída por uma rede de fibrilas de celulose, sendo rica em glucanos, proteínas e pectinas. A parede secundária é constituída basicamente por celulose e o lúmen apresenta-se sob a forma de um canal central das fibras e só pode ser observado em fibras de algodão muito maduras (SILVA, 2006).

### 2.3 BENEFICIAMENTO

Dentre os processos da cadeia produtiva têxtil, o processo de beneficiamento têxtil visa melhorar as características físico-químicas dos substratos



têxteis, independente da forma que se encontra (SENAI, 2016). Contudo, os processos de beneficiamento variam de acordo com o tipo de material a ser beneficiado, uma vez que cada substrato requer uma preparação específica de acordo com as características do material e a utilização final.

O beneficiamento pode ser dividido em três etapas, sendo eles, o beneficiamento primário, secundário e terciário. No beneficiamento primário o tecido é preparado para as etapas subsequentes, no beneficiamento secundário o tecido é tinto ou estampado e, por fim, beneficiamento terciário compreende uma série de processos que conferem ao material estabilidade dimensional, melhor toque e características especiais exigidas pelo consumidor (LEÃO, 2002).

#### 2.4 BENEFICIAMENTO PRIMÁRIO

O beneficiamento primário é composto por etapas e processos que preparam o substrato para os tratamentos de tingimento, estampagem e acabamento (LAVADO, 2012). Para atingir tal objetivo, os processos a serem realizados no substrato podem ser separados em processos a seco (como a navalhagem e a chamuscagem) e processos a úmido (como a desengomagem, purga e o alveamento). A seguir é apresentada as finalidades destes processos:

- **navalhagem:** consiste na eliminação, por meio do corte, das fibrilas salientes da superfície do tecido, evitando a formação de pilling (SENAI, 2015);
- **Chamuscagem:** neste processo as fibrilas são retiradas por meio da queima, também visando evitar a formação de pilling (LAVADO, 2012);
- **Desengomagem:** é realizada com substâncias químicas ou bioquímicas para retirar os produtos que foram adicionados para aumentar a rigidez e resistência do fio de urdume no processo de tecelagem (PEZZOLO, 2013);
- **Purga:** é o tratamento realizado para remover impurezas como gorduras, ceras e óleos presentes nas fibras, por meio de reações de saponificação e emulsão (SENAI, 2015);
- **Alveamento:** consiste no branqueamento químico realizado para eliminar a coloração amarelada das fibras naturais (PEZZOLO, 2013).

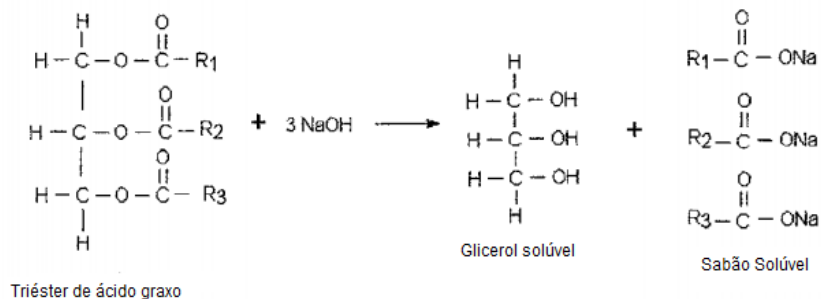
Dentre as etapas citadas, tecidos de algodão, requerem os processos como os de chamuscagem, desengomagem, purga e alvejamento.

## 2.5 PURGA

A fibra de algodão apresenta até 10% do seu peso total em impurezas naturais, essas impurezas podem ser sais minerais, proteínas, pectinas, ceras, gorduras ou ainda, fragmentos de sementes e folhas, sendo que essas impurezas conferem às fibras um caráter hidrofóbico e uma coloração amarelada. Contudo, os processos posteriores de tingimento e estampagem necessitam que o tecido de algodão seja o mais hidrófilo possível para que os corantes sejam absorvidos uniformemente, sendo assim necessário remover essas impurezas (ABQCT, 2006). Diante desta necessidade, a purga se aplica para realizar um tratamento de limpeza dos têxteis, cujo objetivo é reduzir a quantidade de impurezas para obter melhores resultados no tingimento e nos processos de acabamento.

A purga atua removendo as impurezas, principalmente da cutícula e da parede primária, com a utilização de hidróxido de sódio, o qual reage com as impurezas por meio das reações de saponificação e a emulsificação. Na primeira reação o aquecimento faz os componentes das impurezas (triéster de ácidos graxos e glicerol) reagirem com o hidróxido de sódio, deixando o glicerol solúvel em água e formando sais de ácidos graxos, uma espécie de sabão solúvel (SENAI, 2015). O mecanismo de saponificação é demonstrado pela Figura 3.

**Figura 3 – Mecanismo de Saponificação**

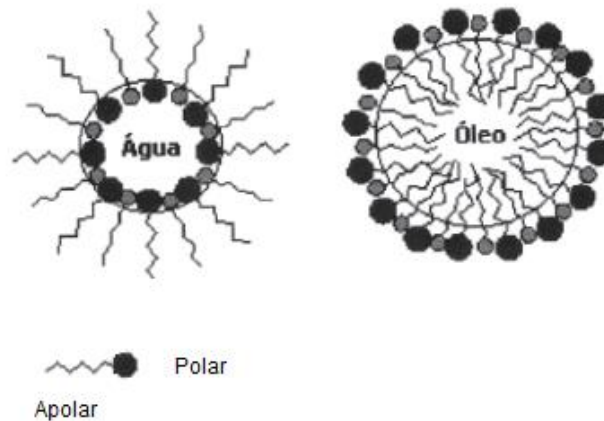


Fonte: Adaptado Giordano (2007).

Para algumas impurezas essa reação não é possível, pois são resistentes à saponificação, ocorrendo então a emulsificação, reação que ocorre em meio aquoso,

utilizando o sabão solúvel formado no processo anterior, os quais possuem cadeias apolares que reagem com as impurezas e uma extremidade polar que reage com a água (KARMAKAR, 1999). O mecanismo de Emulsificação é apresentado na Figura 4.

**Figura 4** – Mecanismo de Emulsificação.



Fonte: Adaptado Oliveira (2002).

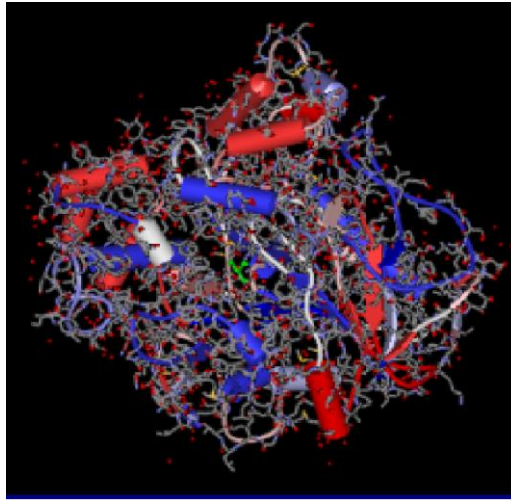
Apesar da purga alcalina ser efetiva e o custo do hidróxido de sódio ser baixo, o processo não é ecologicamente viável, pois consome grandes quantidades de energia, água e agentes auxiliares (FREITAS, 2009). Gerando elevadas quantidades de efluentes com características alcalinas, ocasionando problemas sob um ponto de vista ambiental, devido à grande poluição nos efluentes têxteis e do ar (MUÑOZ, 2012). Além disso, outro inconveniente destes produtos químicos na remoção das impurezas é o ataque à celulose, reduzindo a massa e a resistência do tecido (BIOTIMES, 1999).

Assim, com a crescente conscientização e preocupação com o meio ambiente, tem-se substituído o hidróxido de sódio por enzimas no beneficiamento primário, pois a utilização de enzimas permite um processo sob condições mais suaves, diminui o consumo de água e de energia, além de gerar efluentes mais facilmente tratáveis (PIMENTEL, 2010).

## 2.6 ENZIMAS

As enzimas são proteínas que atuam como catalisadores biológicos, apresentando alta capacidade catalítica e seletividade específica sobre o substrato (CALADO; DILLON; SALGUEIRO, 2007). Atuam nas reações bioquímicas, acelerando a taxa da reação (CAVACO; GÜBTIZ, 2003). A Figura 5 apresenta a estrutura de uma enzima.

**Figura 5** – Estrutura de uma enzima pectinase.



Fonte: Moreira, 2015.

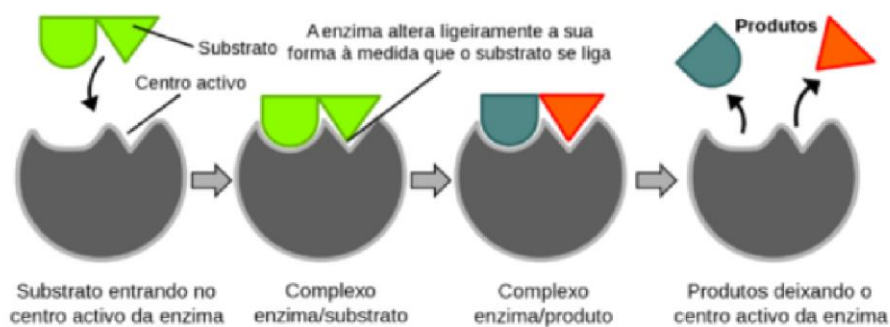
A utilização de enzimas no processo têxtil apresenta um melhoramento no processo, devido a substituição de produtos químicos utilizados em algumas etapas dos processos têxteis, reduzindo o impacto ambiental, assim como os danos às fibras. As enzimas melhoram a qualidade dos produtos, pois é altamente específica, permitindo a produção de produtos acabados de melhor qualidade com relação ao aspecto visual, toque e propriedades de resistência. Reduz o desgaste do equipamento e confere maior flexibilidade na sua utilização. Possibilita economia de energia aumento de produtividade (COMOLI-LAMBERTI, 1999 apud FREITAS 2009).

Devido sua estrutura complexa, as enzimas apresentam alto grau de especificidade. Para melhor compreensão das características e propriedades enzimáticas, é necessário conhecer a estrutura da enzima, as quais são proteínas que podem ser formadas por vários tipos de aminoácidos, sendo que algumas possuem na estrutura elementos não-proteicos (grupo prostético). Assim, o que

caracteriza uma enzima é a quantidade de aminoácidos que a compõe e a ordem que eles se encontram (TORRES, 2001).

Cada enzima apresenta uma estrutura muito específica com reentrâncias, denominadas sítios ativos, onde os substratos são ligados a elas. O sítio ativo é uma cavidade com forma definida, aberta na superfície da enzima, sendo essa forma definida que confere a especificidade da enzima. Assim, para ser reconhecida como um substrato a molécula deve ter a forma adequada para acomodar-se no sitio ativo e os grupos químicos capazes de estabelecer ligações com os grupos químicos da enzima (TORRES, 2001). O sitio ativo deve assegurar não somente que a enzima se ligue ao substrato, mas também que outras moléculas indesejáveis sejam excluídas e que o substrato esteja na orientação correta para a catálise ocorrer (CAVACO; GÜBITZ, 2003). O esquema sítio ativo e substrato está representado na Figura 6.

**Figura 6** – Esquema sítio ativo e substrato.



Fonte: Moreira (2015).

## 2.7 BIOPURGA

Os componentes não-celulósicos da fibra de algodão podem ser removidos da cutícula e da parede primária pela ação de enzimas sob condições reacionais brandas. Este processo é uma alternativa à purga alcalina (KALANTZI et al., 2010). A utilização de enzimas para remover impurezas da fibra denomina-se biopreparação, biopurga ou purga enzimática.

Como comentado anteriormente, a especificidade da enzima depende da molécula em que cada enzima atua e da reação que será efetuada. Com isso a enzima utilizada no processo de purga para a remoção de impurezas não afeta a

fibra, pois sua especificidade permite que ela selecione reagir apenas com as impurezas, não atacando a estrutura da fibra (CAVACO; GÜBITZ, 2003).

A eficácia da biopurga pode ser aumentada aplicando processos de combinação de enzimas, pois as enzimas são altamente específicas, com isso cada enzima atua removendo uma impureza determinada e, quando associadas diferentes tipos de enzimas, é possível remover diferentes impurezas simultaneamente resultando em melhores resultados. De fato, Silva (2017) realizou um estudo sobre a aplicação de pectinases, celulases e lipases na purga enzimática do algodão, sendo que as enzimas foram analisadas individualmente e em combinações. Além disso, os resultados obtidos foram comparados aos resultados obtidos de uma purga alcalina. Após o experimento foi observado que embora os resultados obtidos com a utilização das pectinases tenham sido bons, a biopurga realizada utilizando três enzimas (pectinases, celulases e lipases) apresentou melhores resultados de hidrofiliidade, sendo esses resultados melhores que os resultados obtidos pelo processo alcalino.

Vigneswaran, Ananthasubramanian e Anbumani (2012) estudaram a aplicação das enzimas celulase, pectinase, protease e lipase na purga do algodão, analisando as enzimas diferentes combinações. O melhor resultado para a hidrofiliidade foi obtido no processo realizado com as quatro enzimas.

Wang et. al. (2007) estudaram o processo de biopurga de algodão com as enzimas pectinase, celulase, protease, lipase e xilanase, aplicadas em combinações de duas enzimas e isoladamente, sendo o melhor resultado apresentado pela combinação de pectinas e celulases.

Os estudos apresentados demonstram que a combinação de diferentes tipos de enzimas pode de fato melhorar os resultados de hidrofiliidade obtidos no processo de purga enzimática.

### 2.7.1 Lipases

As lipases são um grupo de enzimas que catalisam diversas reações envolvendo triacilgliceróis (TAG), tais como sua hidrólise total ou parcial (COLLA et al., 2013). Além das reações de hidrólise, as lipases são capazes de catalisar reações de esterificação, transesterificação (alcoólises, acidólises e ineresterificação), aminólise (síntese de amidas) e lactonização (SUDBRACK, 2012).

A utilização de lipase na purga do algodão tem sido estudada, pois a cutícula da fibra de algodão possui uma complexa mistura de lipídeos. Esta presença abre a possibilidade do uso de lipases no processo de biopurga do algodão cru (RAJA, 2012 apud SILVA, 2013a).

### 2.7.2 Pectinases

As pectinases têm recebido grande interesse no processo de purga, pois reage com a pectina da parede celular do algodão, degradando-a e removendo-a. Sendo efetivas para as fibras de algodão, pois com essa degradação e eliminação de pectinas, as ceras são removidas e, assim, melhoram a hidrofiliabilidade do tecido, sem causar destruição à celulose (KALANTZI et al., 2008)

Vale ressaltar ainda que a utilização de pectinases no processo de purga permite uma menor perda de massa, no entanto, o grau de branco de processos enzimáticos apresenta menor índice quando comparado ao processo alcalino. Isso ocorre devido às condições do tratamento alcalino serem mais agressivas às fibras, removendo com maior eficiência todas as impurezas, inclusive as que conferem um aspecto amarelado ao tecido, podendo remover parte da própria fibra por degradação (PIMENTEL, 2010).

### 2.7.3 Celulases

São enzimas produzidas por fungos e bactérias, secretadas para quebrar a celulose até a obtenção da glicose, a qual pode ser usada como nutriente (ABQCT, 2006). É um sistema enzimático multicomponente composto pelas enzimas endocelulases (EG), celobiohidrolase (CBH) e as  $\beta$ -glucosidases ( $\beta$ G), com especificidade e modo de ação distintos (REIS, 2016).

Segundo Kumar, Purte e Yoon (1996), os endoglucanases hidrolisam os polímeros de celulose aleatoriamente ao longo das cadeias, atacando principalmente as suas regiões internas, enquanto que as celobiohidrolases (CBH) atacam as extremidades dos polímeros e produzem principalmente celobiose. Os componentes da celulase atuam de forma sinérgica na degradação da celulose. Entretanto, esses efeitos não são sempre desejáveis em aplicações têxteis, pois a completa degradação das fibras celulósicas pelas celulases não é o resultado final desejado. Assim, recentes avanços na biotecnologia têm levado ao desenvolvimento de composições de celulases, preparadas de acordo com aplicações específicas,

usando uma variedade de técnicas de separação e de melhoramento. Essas composições podem trazer benefícios aos tratamentos com celulase com mínimos efeitos prejudiciais (CAVACO; PAULO 1995 apud ABQCT, 2018).

## 2.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As indústrias têxteis apresentam muitos processos, os quais podem ser danosos ao meio ambiente. Diante disso, com a crescente preocupação com o ecossistema as enzimas são uma fonte alternativa para substituir elementos químicos mais prejudiciais.

Processos enzimáticos são menos nocivos, consomem menos água e energia e, conseqüentemente, geram menor quantidade de resíduos. Assim, a utilização de enzimas no processo de purga, além das vantagens ambientais, apresenta resultados menos prejudiciais às fibras, pois as mesmas apresentam alta especificidade devido sua estrutura e com isso as enzimas reagem apenas com as impurezas contidas nas fibras (KALANTZI et al.,2010).

De forma geral, a purga alcalina apresenta bons resultados, no entanto necessita de maiores condições de tempo e temperatura, além do grande consumo de produtos químicos. Já o processo de purga enzimática ocorre em temperatura e tempo menores. Diante disso, é necessário verificar se a biopurga consegue retirar os materiais hidrofóbicos do material de forma eficiente como o processo convencional.



### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 MATERIAIS

Para a realização dos experimentos foram utilizadas amostras de malha 100% algodão, de gramatura 155 g/m<sup>2</sup> cortadas em tiras (15 x 2,5 cm), hidróxido de sódio (Alphatec), detergente umectante (Tremembé química), composição enzimática contendo as enzimas: pectinase, celulase e lipase (Akmey, Biokey BSPG), máquina de caneca (KIMAK AT1-SW), corante reativo azul (Golden, BG-2G). Os experimentos foram realizados na UTFPR – câmpus Apucarana.

#### 3.2 PLANEJAMENTO FATORIAL PARA OS PROCESSOS DE PURGA

Para verificar as melhores condições de purga em relação à temperatura, tempo, concentração de NaOH e concentração do composto enzimático, realizou-se um planejamento fatorial com 2 níveis e 3 variáveis (2<sup>3</sup>), composto de 8 ensaios, em duplicata, para a purga alcalina e 8 ensaios, em duplicata, para a purga enzimática. O planejamento fatorial foi realizado para avaliar, dentre os fatores escolhidos, quais exercem maior influência nos processos de purga, utilizando como variável resposta a capilaridade.

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentadas as variáveis e os níveis para os processos de purga alcalina e purga enzimática respectivamente.

**Tabela 1** – Planejamento Fatorial para a purga alcalina.

Variáveis	Níveis	
	-1	1
Tempo (min)	20	60
Temperatura (°C)	60	90
Concentração NaOH (gL <sup>-1</sup> )	2	8

Fonte: Autor (2019).

**Tabela 2** – Planejamento Fatorial para a purga enzimática.

Variáveis	Níveis	
	-1	1
Tempo (min)	20	60
Temperatura (°C)	60	90
Concentração enzimas (spm)	2	8

Fonte: Autor (2019).

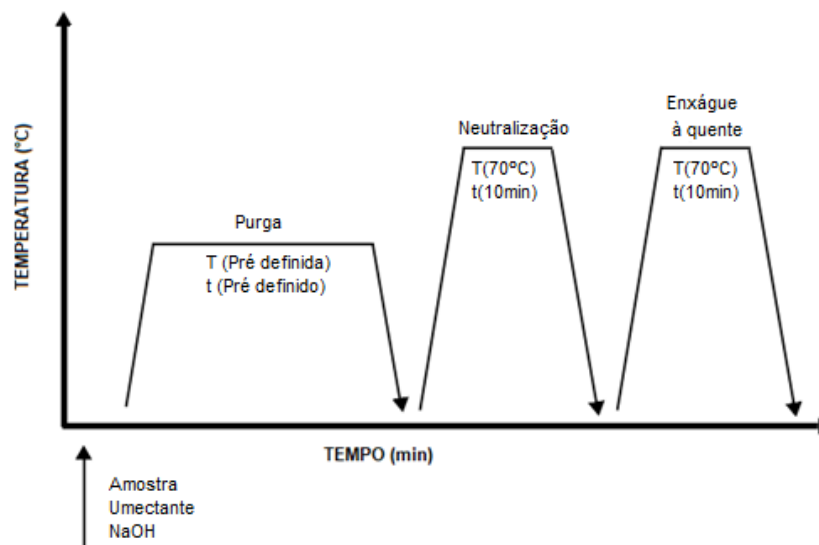
### 3.3 PURGA ALCALINA

O processo de purga alcalina foi baseado na metodologia adaptada de SILVA et al. (2017). Assim, o processo foi realizado em um equipamento de laboratório para processos por esgotamento (KIMAK AT1-SW), na qual a malha foi purgada em uma solução contendo detergente umectante ( $1 \text{ mL.L}^{-1}$ ) e hidróxido de sódio com concentrações de acordo com a Tabela 1, com uma relação de banho (RB) de 1:20.

Os reagentes e a amostra de tecido foram adicionados a frio (processo *all in*) e, em seguida, iniciou-se o aquecimento até uma temperatura pré-determinada, sendo que a mesma foi mantida por um tempo também pré-determinado. Após a realização da purga, o conteúdo do banho foi descartado e a malha passou por um processo de neutralização com ácido acético em pH 7,0 a  $70^\circ\text{C}$  por 10 min. Em seguida, o tecido foi lavado a quente a  $70^\circ\text{C}$  por 10 min e, depois lavado em temperatura ambiente e então foram secas também em temperatura ambiente. O gráfico do processo de purga alcalina é apresentado na Figura 7.

A fim de avaliar a influência da concentração de hidróxido de sódio, temperatura e tempo no processo de purga de alcalina, realizou-se a variação destes de acordo com os dados da Tabela 1.

**Figura 7 – Gráfico do processo de purga alcalina**



Fonte: Autor (2019).

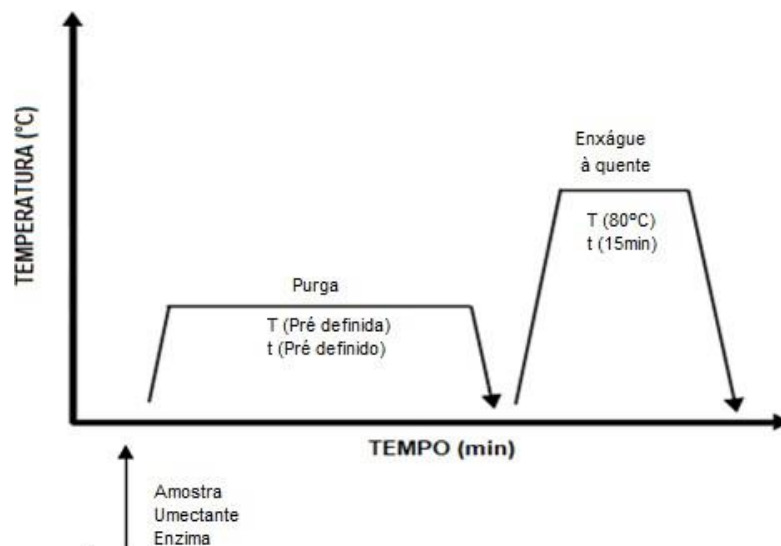
### 3.4 PURGA ENZIMÁTICA

Para a realização do processo de purga enzimática foi utilizada a metodologia adaptada da proposta apresentada pela empresa Akmey. O processo foi realizado em um equipamento de laboratório para processos por esgotamento (KIMAK AT1-SW), na qual a malha foi purgada em uma solução contendo detergente umectante ( $1 \text{ mL.L}^{-1}$ ) e composição enzimática com concentração de acordo com a Tabela 2, com uma relação de banho (RB) de 1:20.

Os reagentes e a amostra de tecido foram adicionados a frio (processo *all in*) e, em seguida, iniciou-se o aquecimento até uma temperatura pré-determinada, sendo que a mesma foi mantida por um tempo também pré-determinado. Em seguida, o tecido foi lavado à quente a  $80^\circ\text{C}$  por 15 min e, depois, enxaguado em temperatura ambiente e então foi seco também em temperatura ambiente. O gráfico do processo de purga enzimática é apresentado na Figura 8.

A fim de avaliar a influência da concentração do composto enzimático, da temperatura e do tempo no processo de purga de enzimática, realizou-se a variação destes de acordo com os dados da Tabela 2

**Figura 8** – Gráfico do processo de purga enzimática.



Fonte: Autor (2019).

### 3.5 CAPILARIDADE

Para o teste de capilaridade foi utilizada a metodologia adaptada de SILVA (2013b). Assim, para esta análise as amostras cortadas em tiras ( $15 \times 2,5 \text{ cm}$ ) foram marcadas em 2 cm de comprimento, em seguida, esses 2 cm foram imersos em uma

solução contendo corante reativo azul (Golden, BG-2G). Após 5 minutos cronometrados a amostra foi retirada da solução e colocada em pé por 15 minutos, em seguida mediu-se a altura de corante absorvido pela capilaridade em centímetros (cm), sendo que quanto maior o valor medido maior a capilaridade do tecido. O ensaio de capilaridade está representado na Figura 9.

**Figura 9** – Ensaio de capilaridade.



Fonte: Autor (2019).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 4.1 PLANEJAMENTO FATORIAL PARA A PURGA ALCALINA

O planejamento possibilitou verificar a influência dos fatores tempo, temperatura e concentração de NaOH na variável resposta nos processos de purga alcalina. O Na Tabela 3 são apresentados os resultados obtidos a partir do planejamento fatorial.

**Tabela 3** – Resultados obtidos no planejamento fatorial da purga alcalina.

Ensaio	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Concentração NaOH (gL <sup>-1</sup> )	Capilaridade 1 (cm)	Capilaridade 2 (cm)	Média (cm)
1	-	-	-	1,20	1,20	1,20
2	-	-	+	3,10	3,60	3,35
3	-	+	-	6,10	6,40	6,25
4	-	+	+	5,40	5,50	5,45
5	+	-	-	1,50	1,20	1,35
6	+	-	+	5,50	3,20	4,35
7	+	+	-	7,50	5,00	6,25
8	+	+	+	4,50	4,20	4,35

Fonte: Autor (2019).

Com os dados apresentados na Tabela 3 pode ser observado que os ensaios 3 e 7 apresentaram os maiores valores médios de capilaridade, também é possível observar que nestes dois ensaios os fatores temperatura e concentração de NaOH foram os mesmos, ou seja, de um ensaio para o outro o único fator que sofreu variação foi o tempo. Desse modo, era esperado que o ensaio 7 apresentasse maior capilaridade, considerando que o tempo de processo foi maior.

O menor valor médio de capilaridade foi observado no ensaio 1, em que os fatores tempo, temperatura e concentração de NaOH eram menores, a menor capilaridade pode ter ocorrido pois algum dos fatores mínimos ou todos eles, foram insuficientes.

Na Tabela 4 é apresentado o efeito e o porcentual de contribuição de cada variável para a resposta, obtidos por meio do *software* Design-Expert 7.0.

**Tabela 4** – Efeito principal e porcentual de contribuição das variáveis sobre a capilaridade na purga alcalina.

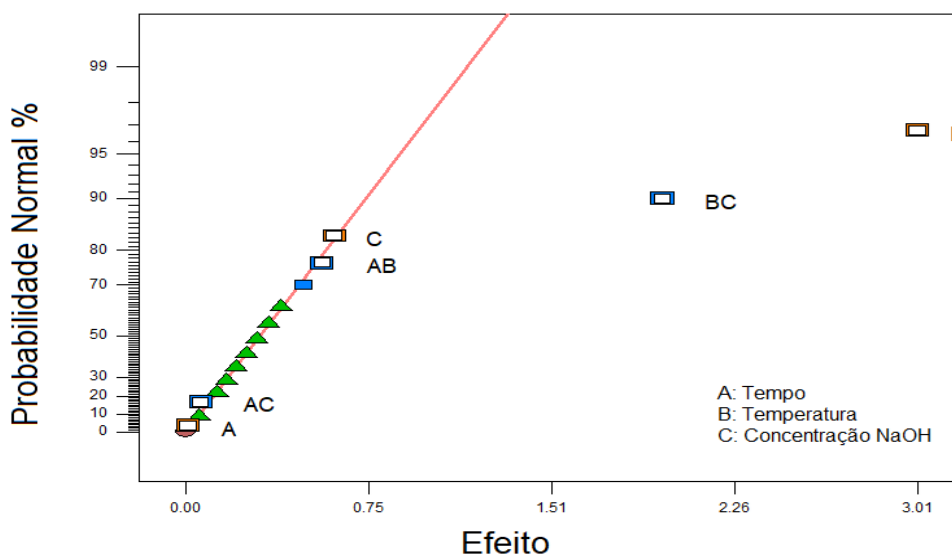
Termos	Efeito	Soma dos Quadrados	% Contribuição
A- Tempo	0,013	0,000625	0,001017
B- Temperatura	3,01	36,30	59,05
C- Concentração NaOH	0,61	1,5	2,44
Interação AB	-0,56	1,27	2,06
Interação AC	-0,063	0,016	0,025
Interação BC	-1,96	14,41	25,06
Interação ABC	-0,49	6,04	1,55

Fonte: Autor (2019).

De acordo com os dados da Tabela 4, a temperatura apresentou o maior porcentual de contribuição para o aumento da capilaridade, seguido pela interação BC. Além disso, os valores de efeito positivos indicam que o aumento no fator resulta numa maior capilaridade, enquanto que efeito negativo apresentado pelas interações indica que o fator é inversamente proporcional à variável resposta, ou seja, o aumento deste fator resulta na diminuição da capilaridade. Sendo o efeito da temperatura, do tempo e da concentração de NaOH positivos, enquanto o efeito das interações AB, AC e BC são negativos.

A verificação dos fatores significativos em relação à capilaridade foi realizada pela análise do gráfico de probabilidade normal dos efeitos, obtido pelo *software* Design-Expert 7.0. O gráfico é apresentado na Figura 10. Ao analisar a Figura 10, os valores mais distantes da mesma apresentam efeitos mais significativos, enquanto valores mais próximos ou sobrepostos são pouco significativos ou não significativos. Assim, observou-se que a temperatura e a interação BC são significativos, enquanto os fatores tempo, concentração de NaOH, e as interações AB e AC não são significativos.

**Figura 10** – Probabilidade Normal dos efeitos em relação à capilaridade na purga alcalina.



Fonte: Autor (2019).

A Tabela 5 apresenta uma verificação se há diferença significativa entre os níveis dos fatores pela análise de variância (ANOVA) obtidos pelo *software* Design-Expert 7.0.

**Tabela 5** – Nível de significância dos parâmetros pela ANOVA da purga alcalina.

Fator	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Valor F	Valor- p Nível de significância
Modelo	54,49	6	9,08	11,70	0,0008
A-Tempo	0,000625	1	0,000625	0,0008052	0,9780
B-Temperatura	36,30	1	36,30	46,77	<0,0001
C-Concentração NaOH	1,50	1	1,5	1,93	0,1978
Interação AB	1,27	1	1,27	1,63	0,2336
Interação AC	0,016	1	0,016	0,020	0,8903
Interação BC	15,41	1	15,41	19,85	0,0016
Residual	6,99	9	0,78		
Falta de ajuste	0,95	1	0,95	1,26	0,2942
Erro Puro	6,04	8	0,75		
Total	61,47	15			

Fonte: Autor (2019).

O coeficiente de correlação  $R^2$  representa uma análise da variabilidade dos dados, que pode ser explicada com base nos efeitos significativos da ANOVA, o seu

alto valor indica que o modelo ajustado explica a variabilidade do valor (SILVA, 2013a). O modelo apresentou um  $R^2$  de 0,8864 indicando que 88,64% da variabilidade das repostas podem ser explicadas pela variação dos fatores apresentados.

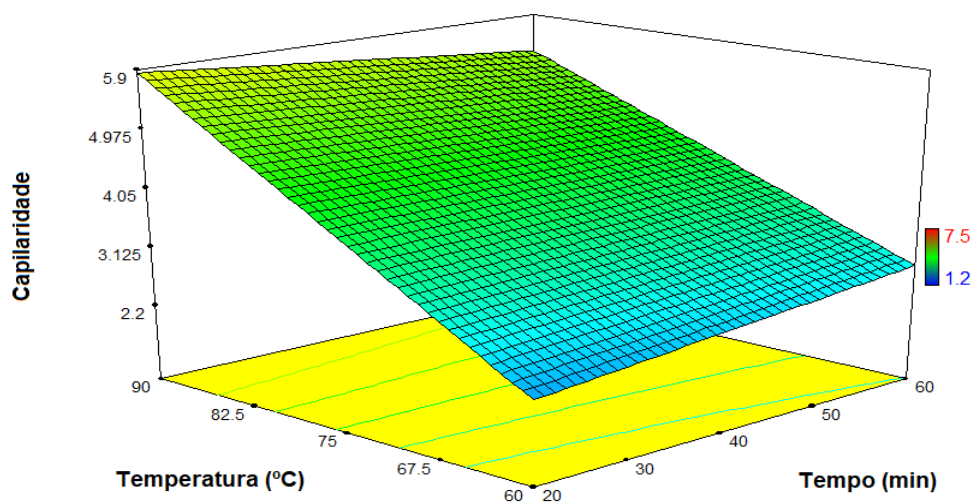
Após a análise da ANOVA obteve-se a equação modelo, que relaciona a capilaridade aos fatores tempo, temperatura, concentração de NaOH e suas interações, a equação é apresentada a seguir:

$$\begin{aligned} \text{Capilaridade} = & 4,07000 + (0,00625 \times A) + (1,51000 \times B) + (0,31000 \times C) \\ & - (0,28000 \times A \times B) - (0,03100 \times A \times C) - (0,98000 \times B \times C) \end{aligned}$$

Em que A = Tempo (min.), B = Temperatura (°C) e C = Concentração de NaOH.

A partir da equação modelo construíram-se as curvas de superfícies, para avaliação da influência dos fatores tempo, temperatura e concentração de NaOH em relação à capilaridade. A curva de superfície demonstrando a influência da alteração dos fatores tempo e temperatura, com o fator concentração de NaOH no ponto central ( $3.\text{gL}^{-1}$ ) é apresentada na Figura 11.

**Figura 11** – Curva de superfície dos fatores tempo e temperatura em relação à capilaridade na purga alcalina.



Fonte:

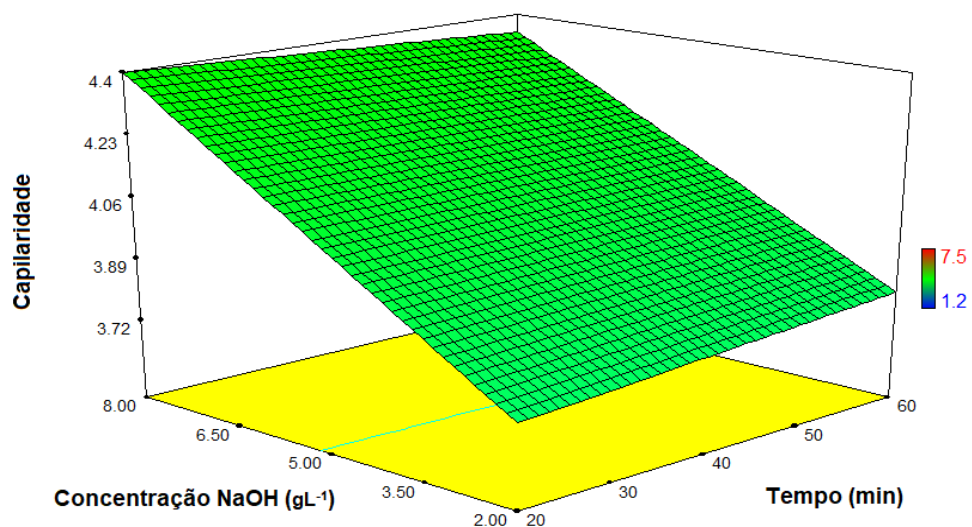
Autor (2019).



A curva de superfície apresentada na Figura 11 permite verificar que o aumento da temperatura resulta diretamente no aumento da capilaridade. Segundo Forni (2007), o aumento de temperatura resulta em uma maior agitação de moléculas, fornecendo melhores condições para o processo. No entanto, pode ser observado pela Figura 11 que em condições de maior temperatura o aumento do tempo diminui a capilaridade. Nas condições de baixa temperatura, o aumento do fator tempo resultou numa melhor capilaridade.

A curva de superfície demonstrando a influência da alteração dos fatores tempo e concentração de NaOH, com o fator temperatura no ponto central (75°C) é apresentada na Figura 12. A partir da curva de superfície da Figura 12 é possível verificar que, apesar da variação ser pequena, a maior capilaridade ocorreu em condições de menor tempo. Segundo Santos (2010), apesar do tempo de processo ser de extrema importância para que a reação seja completa, é no início do processo que as reações ocorrem com maior velocidade, ocasionando em melhores resultados. O aumento da concentração de NaOH resulta em uma maior capilaridade, isso pode ter ocorrido pois o aumento na concentração de NaOH resulta em uma maior capilaridade, isso pode ter ocorrido pois esse aumento na concentração pode ter causado um aumento na atividade do processo, resultando numa maior capilaridade.

**Figura 12** – Curva de superfície dos fatores tempo e concentração de NaOH em relação à capilaridade na purga alcalina.

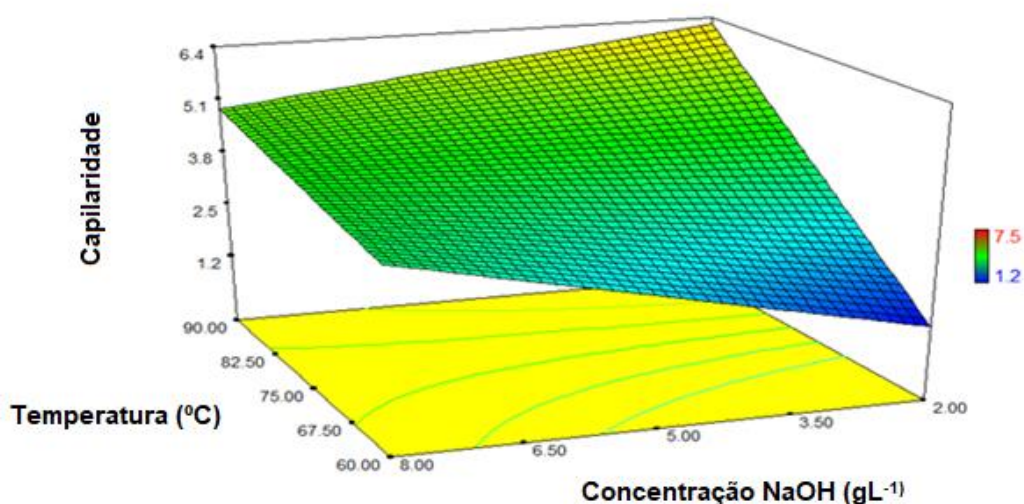


Fonte: Autor (2019).

Na figura 13 é apresentada a curva de superfície demonstrando a influência da alteração dos fatores temperatura e concentração de NaOH, com o fator tempo no ponto central (40 min). A curva de superfície da Figura 13 permitiu verificar que a melhor capilaridade foi obtida em condições de maior temperatura, e nessas condições a capilaridade aumentou com a diminuição da concentração de NaOH. No entanto, o aumento na concentração em altas temperaturas diminuiu a capilaridade pois pode ter ocorrido uma degradação da fibra devido ao aumento da combinação de alta temperatura e alta concentração, prejudicando a capilaridade. A temperatura apresenta uma grande influência em um processo químico, uma vez que auxilia a ação dos agentes químicos e acelera a velocidade da reação, ocasionando melhores resultados (FORNI, 2017).

Em condições de baixa temperatura ocorre o inverso, o aumento da concentração de NaOH resulta em melhores capilaridades. De fato, Silva (2002) relatou em seus estudos que num processo de purga alcalina, em condições de menores temperaturas, à medida que a concentração de NaOH aumenta o material tende a se tornar menos hidrofóbico.

**Figura 13** – Curva de superfície dos fatores temperatura e concentração de NaOH em relação à capilaridade na purga alcalina.



Fonte: Autor (2019).

#### 4.2 PLANEJAMENTO FATORIAL PARA A PURGA ENZIMÁTICA

No processo de purga enzimática foi verificada a influência dos fatores tempo, temperatura e concentração do composto enzimático na capilaridade. Os resultados obtidos são mostrados na Tabela 6.

**Tabela 6** – Resultados obtidos no planejamento fatorial da purga enzimática.

Ensaio	Tempo (min)	Temperatura (°C)	Concentração enzimas (%spm)	Capilaridade	Capilaridade	Média (cm)
				1 (cm)	2 (cm)	
1	-	-	-	1,50	1,50	1,50
2	-	-	+	1,20	1,40	1,30
3	-	+	-	7,00	6,90	6,95
4	-	+	+	7,50	6,80	7,15
5	+	-	-	6,30	5,40	5,85
6	+	-	+	3,90	2,70	3,30
7	+	+	-	4,00	3,10	3,55
8	+	+	+	3,10	3,00	3,05

Fonte: Autor (2019).

Os dados apresentados na Tabela 6 permitem observar que o maior valor médio de capilaridade foi apresentado no ensaio 4, já o menor valor médio de capilaridade foi observado no ensaio 2. Nota-se que a única mudança nas condições de um ensaio para o outro é o fator temperatura, visto que o tempo e a concentração de enzimas destes ensaios são os mesmos. Essa variação da capilaridade obtida nos ensaios 2 e 4, em que o único fator alterado foi a temperatura pode demonstrar uma possível influência da temperatura sobre o processo.

Ainda em relação aos dados apresentados na Tabela 6 observa-se que o ensaio 3 apresentou um bom valor médio de capilaridade, sendo pouco menor que o maior valor médio apresentado pelo ensaio 4. Os ensaios 3 e 4 apresentaram mesmas condições de tempo e temperatura, no entanto no ensaio 3 foi utilizada uma menor concentração do composto enzimático. Desse modo, o ensaio 3 é mais vantajoso industrialmente, considerando a menor quantidade de produto utilizada.

O efeito e o percentual de contribuição de cada variável sobre a capilaridade nos processos de purga enzimática são apresentados na Tabela 7.

**Tabela 7** – Efeito principal e porcentual de contribuição das variáveis sobre a capilaridade na purga enzimática.

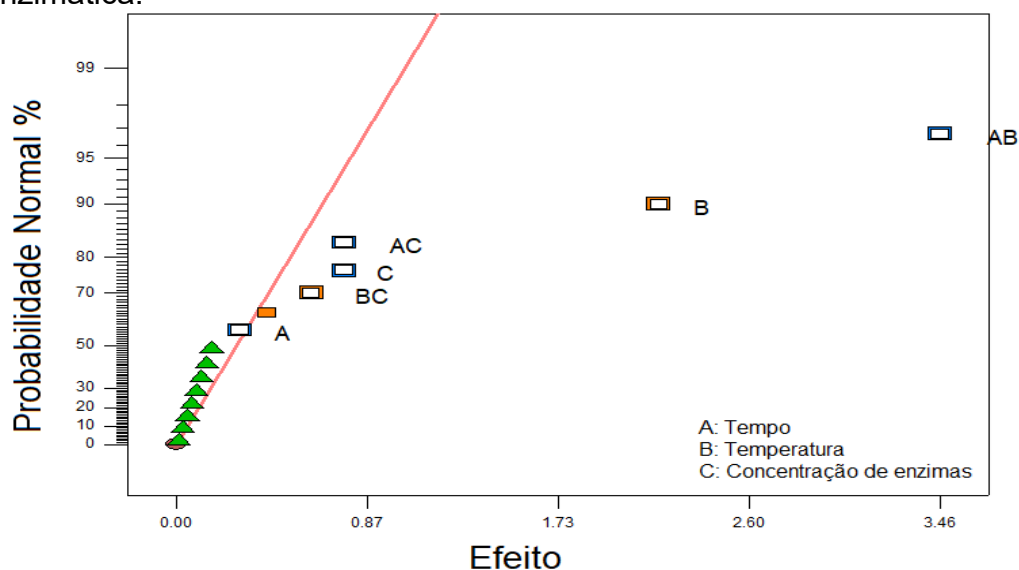
Termos	Efeito	Soma dos Quadrados	% Contribuição
A- Tempo	-0,29	0,33	0,43
B- Temperatura	2,19	19,14	25,16
C- Concentração enzimas	-0,76	2,33	3,06
Interação AB	-3,46	47,96	63,05
Interação AC	-0,76	2,33	3,06
Interação BC	0,61	1,50	1,97
Interação ABC	0,41	0,68	0,89

Fonte: Autor (2019).

Com os resultados apresentados na Tabela 7 observa-se que a interação AB apresentou um maior efeito e porcentual de contribuição sobre a capilaridade, seguido da temperatura. Os valores de efeito positivos indicam que o aumento no fator resulta numa maior capilaridade, enquanto que efeito negativo indica que o fator é inversamente proporcional à variável resposta, ou seja, o aumento deste fator resulta na diminuição da capilaridade. Sendo o efeito da temperatura e da interação BC positivos, enquanto o efeito da interação AB, do tempo, da concentração de enzimas e da interação AC são negativos.

A verificação dos fatores significativos em relação à capilaridade foi realizada pela análise do gráfico de probabilidade normal dos efeitos, obtido pelo *software* Design-Expert 7.0. O gráfico é apresentado na Figura 14. Considerando que os fatores mais distantes da reta apresentam efeitos significativos e os valores sobrepostos não são significativos, o efeito da interação AB, da temperatura, da concentração do composto enzimático e das interações AC e BC são significativos, já o fator tempo apresenta efeito não significativo.

**Figura 14** – Probabilidade Normal dos efeitos em relação à capilaridade na purga enzimática.



Fonte: Autor (2019).

A Tabela 8 apresenta uma verificação se há diferença significativa entre os níveis dos fatores pela análise de variância (ANOVA).

**Tabela 8** – Nível de significância dos parâmetros pela ANOVA em relação à capilaridade na purga enzimática.

Fator	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Valor F	Valor- p Nível de significância
Modelo	73,58	6	12,26	44,40	<0,0001
A- Tempo	0,33	1	0,33	1,20	0,3023
B- Temperatura	19,14	1	19,14	69,30	<0,0001
C-Concentração	2,33	1	2,33	8,42	0,0175
Interação AB	47,96	1	47,96	173,64	<0,0001
Interação AC	2,33	1	2,33	8,42	0,0175
Interação BC	1,50	1	1,5	5,43	0,0447
Residual	2,49	9	0,28		
Falta de ajuste	0,68	1	0,68	3,02	0,1206
Erro Puro	1,80	8	0,23		
Total	76,06	15			

Fonte: Autor (2019).

Considerando, que para um modelo e/ou fator seja significativo o valor-p deve ser menor que 0,05, o modelo apresentado é significativo. Com os resultados apresentados na Tabela 8, também é possível observar que apenas o fator tempo não é significativo. A falta de ajuste se apresentou não significativa, indicando que

houve ajuste adequado do modelo estatístico. E ainda, o  $R^2$  obtido foi de 0,9673 indicando que 96,73% da variabilidade das repostas podem ser explicadas pelo modelo.

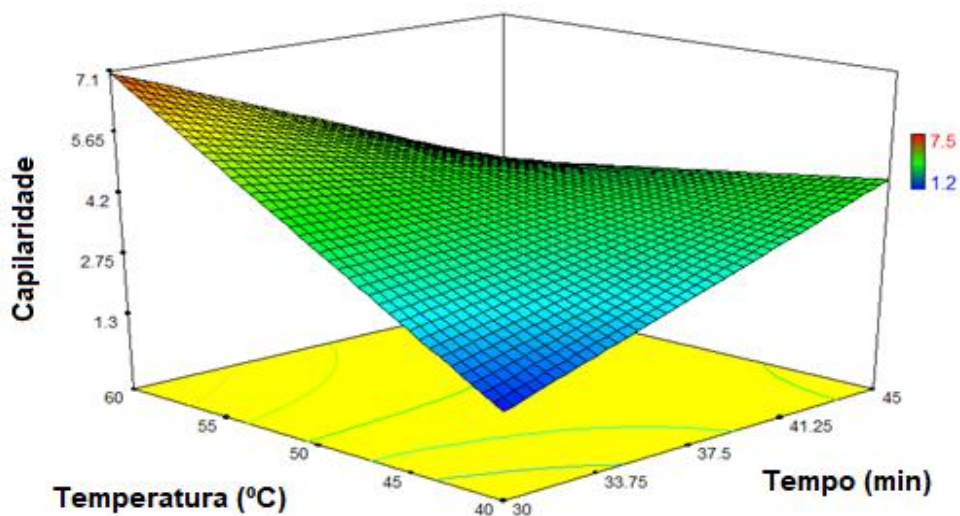
Após a análise da ANOVA obteve-se a equação modelo, que relaciona a capilaridade aos fatores tempo, temperatura, concentração do composto enzimático e suas interações, a equação é apresentada a seguir:

$$\begin{aligned} \text{Capilaridade} = & 4,08 - (0,14 \times A) + (1,09 \times B) - (0,38 \times C) - (1,73 \times A \times B) \\ & - (0,38 \times A \times C) + (0,31 \times B \times C) \end{aligned}$$

Em que A = Tempo (min.), B = Temperatura (°C) e C = Concentração do composto enzimático.

A partir da equação modelo construíram-se as curvas de superfícies para avaliação da influência dos fatores tempo, temperatura e concentração do composto enzimático relação à capilaridade. A curva de superfície demonstrando a influência da alteração dos fatores tempo e temperatura, com o fator concentração do composto enzimático no ponto central ( $2,25 \text{ gL}^{-1}$ ) é apresentada na Figura 15.

**Figura 15** – Curva de superfície dos fatores temperatura e tempo em relação à capilaridade na purga enzimática.

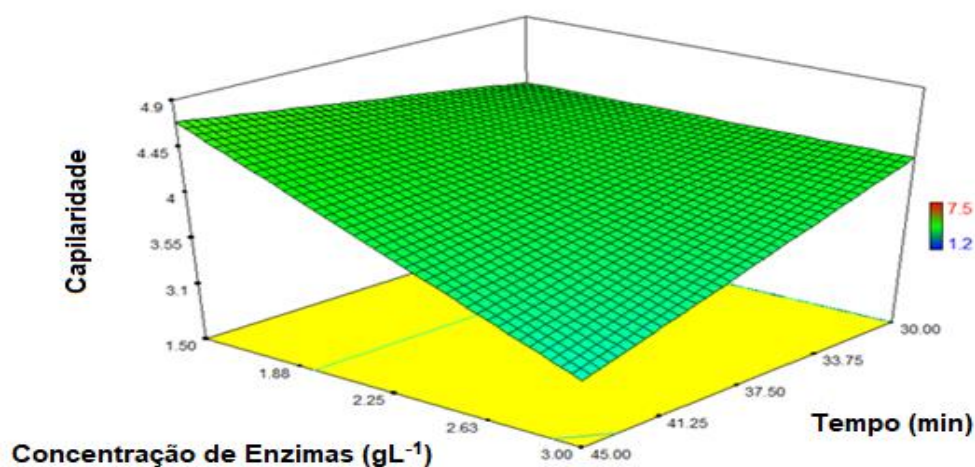


Fonte: Autor (2019).

A curva de superfície apresentada na Figura 15 permite observar que em processos de maior temperatura a maior capilaridade foi apresentada em condições de menor tempo. No entanto, quando a temperatura era menor, a maior capilaridade ocorreu em maior tempo. Freitas (2009) realizou um planejamento fatorial para determinar as melhores condições de biopurga, e obteve melhores resultados nas condições de maiores temperaturas quando o fator tempo era menor, e ainda observou que quanto menor a temperatura empregada no processo, maior o tempo necessário para tornar o material menos hidrofóbico.

A curva de superfície demonstrando a influência da alteração dos fatores tempo e concentração do composto enzimático, com o fator temperatura no ponto central (50°C) é apresentada na Figura 16.

**Figura 16** – Curva de superfície dos fatores tempo e concentração do composto enzimático em relação à capilaridade na purga enzimática.



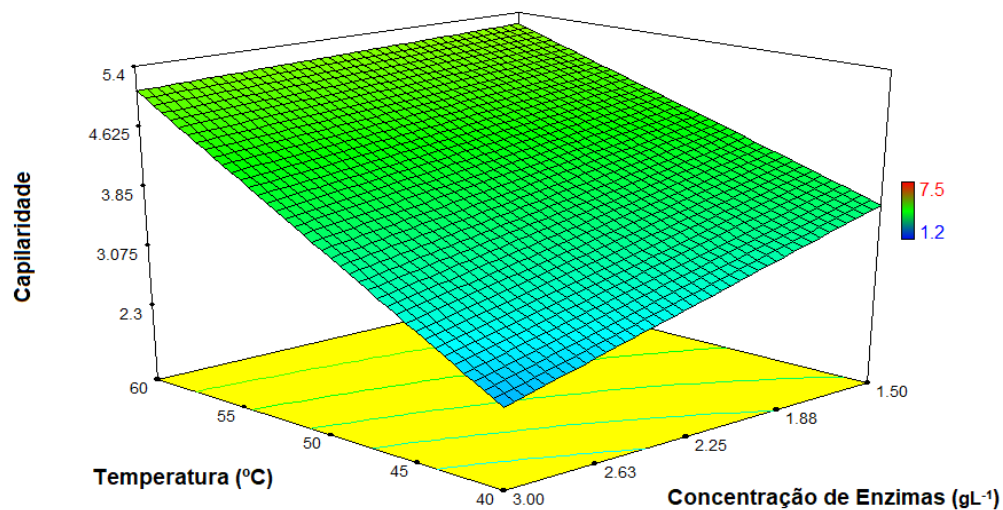
Fonte: Autor (2019).

Observa-se na curva de superfície apresentada na Figura 16 que a maior capilaridade ocorreu em condições de menor concentração do composto enzimático e maior tempo. Quanto menor a concentração maior o tempo necessário para maiores capilaridades. Lenting e Niertraz (2002) estudaram a relação entre a concentração do composto enzimático e do tempo no processo de biopurga, e verificaram a influência desses fatores na hidrofiliidade. Os melhores resultados foram obtidos em condições maior tempo de processo e menor concentração, no

entanto verificaram que para diminuir o tempo do processo era necessário aumentar a concentração do composto enzimático.

Na Figura 17 é apresentada a curva de superfície demonstrando a influência da alteração dos fatores temperatura e concentração do composto enzimático, com o fator tempo no ponto central (37,50 min).

**Figura 17** – Curva de superfície dos fatores temperatura e concentração do composto enzimático em relação à capilaridade na purga enzimática.



Fonte: Autor (2019).

Com a curva de superfície apresentada na Figura 17 observa-se que, apesar da pequena variação, o maior valor de capilaridade apresentado é resultante de um processo com maior temperatura e menor concentração do composto enzimático, no entanto em condições de menores temperaturas as maiores capilaridade são obtidas com maiores concentrações do composto enzimático. Vigneswaran, Ananthasubramanian e Anbumani (2012) estudaram a influência da concentração de enzimas no processo de biopurga, e as condições que apresentaram melhor capilaridade foram as de alta temperatura e concentração enzimática menor.

#### 4.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS DOIS PROCESSOS

Os maiores valores médios de capilaridade e suas condições de processo da purga alcalina e da purga enzimática estão representados nas Tabelas 9 e 10 respectivamente.



**Tabela 9** – Maiores valores médios de capilaridade da purga alcalina.

Tempo (min)	Temperatura (° C)	Concentração (gL <sup>-1</sup> )	Capilaridade média (cm)
20	90	2	6,25
60	90	2	6,25

Fonte: Autor (2019).

**Tabela 10** – Maiores valores médios de capilaridade da purga enzimática.

Tempo (min)	Temperatura (° C)	Concentração (spm)	Capilaridade média (cm)
30	60	1,5	6,95
30	60	3	7,15

Fonte: Autor (2019).

Dentre as análises realizadas nos processos de purga alcalina e purga enzimática foi observado que o fator temperatura apresentou maior influência em ambos os processos, sendo que os maiores valores médios de capilaridade foram obtidos em condições de maiores temperaturas.

No processo alcalino as maiores médias de capilaridade apresentaram o mesmo valor, sendo estas obtidas em condições de maior temperatura e condições de menor concentração de hidróxido de sódio, sendo o tempo o único fator diferente entre esses ensaios, portanto o ensaio que ocorreu num tempo menor é mais vantajoso.

No processo enzimático as maiores médias de capilaridade foram obtidas em condições de menor tempo e condições de maior temperatura, sendo a concentração do composto enzimático o único fator diferente entre esses ensaios. Considerando que a diferença entre as médias obtidas é pequena, o ensaio que utilizou a menor concentração é mais vantajoso.

Comparando os dois processos, a purga enzimática apresentou o maior valor médio de capilaridade e, embora o melhor resultado tenha ocorrido em condições de maior temperatura, o processo enzimático apresentou-se vantajoso em relação ao processo alcalino, visto que sua temperatura máxima é menor que a temperatura máxima da purga convencional.

A purga enzimática também se apresentou vantajosa em relação ao menor número de etapas, considerando que no processo alcalino o material precisa ser

neutralizado após a purga. Diante disso, o tempo total do processo e a quantidade de produtos químicos utilizados no processo enzimático são menores.

Como trabalho futuro poderia ser analisada a resistência da malha e verificar as vantagens e desvantagens dos processos de purga alcalina e purga enzimática em relação a essa resposta variável.

## 5. CONCLUSÃO

A partir do estudo realizado pode-se concluir que a utilização do planejamento fatorial  $2^3$  permitiu avaliar simultaneamente a influência dos fatores tempo, temperatura e concentração (NaOH/ composto enzimático) em relação à variável resposta capilaridade.

Nos processos alcalinos e enzimáticos os maiores valores médios de capilaridade foram obtidos em ensaios com a maior temperatura, sendo a temperatura o fator que apresentou maior influência e significância nos experimentos.

No processo alcalino dois ensaios apresentaram a maior média de capilaridade. O ensaio com menor tempo é vantajoso, considerando ambos os processos ocorreram em condições de maior temperatura e menor concentração de hidróxido de sódio, a maior média obtida foi de 6,25 cm.

Na purga enzimática a melhor condição não apresentou a maior média de capilaridade, pois o maior valor médio precisava de uma condição de maior concentração do composto enzimático. No entanto a diferença entre as médias obtidas nestes dois ensaios foi pequena, sendo mais vantajoso o processo com menor concentração, considerando que ambos os processos apresentavam temperatura maior e tempo menor, a média obtida na melhor condição de processo foi de 6,95 cm.

Comparando os dois processos, o processo enzimático foi vantajoso pois apresentou o maior valor médio de capilaridade, e ainda as condições máximas de temperatura e tempo da purga enzimática são menores em relação à alcalina. No processo alcalino após a realização da purga há necessidade de neutralizar o material, aumentando a quantidade de produtos químicos e o tempo total do processo, sendo outra vantagem do processo enzimático.

Fica como sugestão para trabalhos futuros realizar testes de resistência da malha após os processos de purga alcalina e enzimática, e verificar as vantagens e desvantagens destes processos em relação à esta variável.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABQCT – **Associação Brasileira de Químicos e Coloristas Têxteis**. Disponível em: {[http://www.abqct.com.br/artigost/tecnologia\\_textil\\_basica.pdf](http://www.abqct.com.br/artigost/tecnologia_textil_basica.pdf)}. Acessado em 8 de novembro de 2018.

ARAÚJO, M.; CASTRO, E. M. M. **Manual de Engenharia têxtil**. Fundação Calouste Gulbenkian, v. 1 e 2, Lisboa, 1986.

BIOTIMES, **Biopreparation - suave no algodão e no meio ambiente**. September 1999, n. 3, p. 10-11.

CALADO, V. M. M.; DILLON, A. J. P.; SALGUEIRO, A. A.. **Produção de Celulases por Linhagens de Humicola grisea sob Cultivo Submerso**. Revista Ciências & Tecnologia, S. L., v. 1, p.1-6, 2007. CAVACO- PAULO, A. **Influência da agitação mecânica e da composição enzimática no tratamento do algodão com celulases**. Dissertação (Doutorado) – Universidade do Minho, Portugal, 1995.

CAVACO-PAULO, A.; GÜBITZ, G. M. **Textile Processing with Enzymes**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2003. Cap. 3, p. 228.

CEGARA, J. **Biotecnologia Aplicada aos Processos de Química Têxtil**. Tradução Agostinho S. Pacheco. Química Têxtil, v. 58, mar. 2000.

COLLA, L. M.; REINEHR, C. O.; COSTA, J. A. V. **Aplicações e Produção de Lipases Microbianas**. CIATEC-UPF, v. 4, n. 2, p. 1-14, 2013.

COMOLI-LAMBERTI, B., **Utilização de Enzimas no Tratamento de Confeccionados**. Tradução: Mário Gilberto Cortopassi. Textília, n. 31, 1999.

CONMETRO - **Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial**. Regulamento Técnico Mercosul Sobre Etiquetagem de Produtos Têxteis – Resolução Conmetro/MDIC no 02, de 06 de Maio de 2008. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/resc/pdf/RESC000213.pdf> >. Acesso em: 02 nov. 2018.

FERREIRA, F. C. S. **Avaliação dos Efeitos da Aplicação da Enzima Celulase nas Propriedades de Substratos Têxteis de Algodão**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

FORNI, R. **Higienização: Projeto mecânico de um sistema de higienização cip (cleanig in place)**. Graduação em engenharia mecânica – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2017.

- FREITAS, K. R. **Estabilização Enzimática para Aplicação em Biopurga de Tecidos de Malhas de Algodão**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.
- GIORDANO, J. B. Tratamento Corona Sobre Superfícies Têxteis. Dissertação (Doutorado)- Faculdade de Engenharia Química, Campinas 2007.
- GÜBITZ, G. M. **Uma introdução à Biotecnologia e à Enzimologia e suas Aplicações na Indústria Têxtil**. Química Têxtil, São Paulo, n. 73, p.5471, 01 dez. 2003.
- KALANTZI, S. et al. **Improved Properties of Cotton Fabrics Treated with Lipase and its Combination with Pectinase**. Fibres & Textiles: in Eastern Europe, S. L., v. 18, n. 5, p.86-92, 2010.
- KALANTZI, S.; MAMMA, D.; CHRISTAKOPOULOS, P.; KEKOS, D. **Effect of Pectate Lyase Bioscouring on Physical, Chemical and Lowstress Mechanical Properties of Cotton Fabrics**. *Bioresource Technology*, v. 99, p. 8185–8192, 2008.
- KARMAKAR, S. R. Chemical Technology in the Pre-treatment process of textiles. Amsterdam: Elsevier Science, 1999.
- KUMAR, A., Purtell, C. e Yoon, M.Y. **Customised-enzyme Treatment of Lyocell and its Blends**. *International Dyer*, 181 (10), 19-23, 1996
- LAVADO, F. E. Lockuán. **La Industria Textil y suControl de Calidad**. 1ª Edição – 2012.
- LENTING, H. B. M.; NIERTRASZ, E. Z. A. V. Identifying important parameters for a continuous bioscouring process. *Textil Research Journal*, V. 72, p. 825-831, 2002.
- LEÃO, M. M. D. et al. **Controle Ambiental na Indústria Têxtil: Acabamento de Malhas**. Belo Horizonte: SEGRAC, 2002. 356 p.
- LEWIN, M. **Handbook of Fiber Chemistry**. 3. ed. New York: Crc Press, 2007. 1052 p.
- LIN, C. H.; HSIEH, Y. L.. **Direct Scouring of Greige Cotton Fabrics with Proteases**. *Textile Research Journal*, v. 71, n. 5, p.425-434, 2001.
- SANTOS, S. L. Digestão anaeróbia da vinhaça e determinação de parâmetros para gerenciamento do processo em tempo real. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, 2010.
- MOREIRA, C. Enzima. *Revista Ciência Elementar*, v. 3, p. 162, 2015.
- MUÑOZ, Y. Q. MUÑOZ, Y. Q. Estudio de las sustancias inorganicas más usadas en

la industria textil y la importancia de su conocimiento en los ingenieros industriales.

**Universidad Nacional del Callao**, 2012.

OLIVEIRA, M H. **Principais Matérias-primas Utilizadas na Indústria Têxtil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 5, p. [71]-109, mar. 1997.

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

PIMENTEL, A. **Caracterização de uma Pectinase Comercial e sua Utilização no Processo de Purga da Indústria Têxtil**. Dissertação (Mestrado) Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

RAJA, K. S. et al. **Use of Bacterial Lipase for Scouring of Cotton Fabrics**. Indian Journal Of Fibre & Textile Research, S. L., v. 37, p.299-302, 2012.

REIS, C.Z. Bioalvejamento Enzimático de Tecidos de Malha de Algodão. Dissertação (Doutorado)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

SANTOS, S. L. Digestão anaeróbia da vinhaça e determinação de parâmetros para gerenciamento do processo em tempo real. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, 2010.

SENAI, Sistema Nacional de Aprendizagem Industrial. **Fiação**. 1ª Edição. São Paulo- Editora SENAI, 2015.

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

SHORE, J. **Cellulosics Dyeing. Society of Dyers and Colourists**. p. 2-5 e 14-24, 1995.

SILVA, C. M. P. Tratamento Alcalino e Enzimático de Fibras Sintéticas. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Minho, Portugal, 2002.

SILVA, R. **Tratamento de Fibras Têxteis com Ultra-Sons e Enzimas**. 2006. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade do Minho, Braga, 2006.

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

SILVA, B. C. **Comparativo das Propriedades de Transporte de Umidade, Capilaridade, Permeabilidade ao Vapor e Permeabilidade ao Ar em Tecidos**

**Planos de Poliéster.** P. 140. Dissertação (Doutorado)- Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013b.

SILVA, L. G. M. et al. **Study and Application of na Enzymatic Pool in Bioscouring of Coton Knit Fabric.** Canadian Journal of Chemical Engineering, v. 95, n. 7, p. 1253-1260.

SUDBRACK, T. S. **Imobilização de Lipase em Montmorilonita e Aplicação em Reações Oleoquímicas.** 2012. 66 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

TORRES, B. B. **Elementos de Enzimologia.** In: BORZANI, W. et al. Biotecnologia Industrial. São Paulo: Blucher. 2001. p. 151-175.

VIGNESWARAN, C.; ANANTHASUBRAMANIAN, M.; ANBUMANI, N. Neural network approach for optimizing the bioscouring performance of organic cotton fabric through aerodynamic system. **Journal of Textile and apparel, Tecnology and Management**, v.7, v. 3, p. 26, 2012.

WANG, Q. et al. Optimizing bioscouring condition of cotton knitted fabrics with an alkaline pectinase from bacillus subtilis wshb 04-02 by using response surface methodology. Biochemical Engineering Journal, v. 34, p. 107-113, 2007.

ZEFERINO, M. **Comércio Exterior da Cadeia de Produção do Algodão em 2017/18.** [S.l.], 2017. Disponível em: <<http://www.iea.agricultura.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=14353>>. Acesso em: 15 de outubro de 2019.