

Victor Kreutzfeld

**Enzimas combinadas com tensoativos e oxidantes na lavagem de tecidos de algodão manchados com molho de tomate**

Trabalho de Conclusão de Curso  
submetido ao Departamento de  
Engenharia Têxtil, Campus Blumenau  
da Universidade Federal de Santa  
Catarina para a obtenção do Grau de  
Bacharel em Engenharia Têxtil.  
Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Rita de Cássia  
Siqueira Curto Valle

Blumenau  
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária  
da UFSC.

Kreutzfeld, Victor

Enzimas combinadas com tensoativos e oxidantes na lavagem de tecidos de algodão manchados com molho de tomate / Victor Kreutzfeld; orientadora, Rita de Cássia Siqueira Curto Valle, 2019.

90 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) –  
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau,  
Graduação em Engenharia Têxtil, Blumenau, 2019.

Inclui referências.

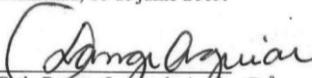
1. Engenharia Têxtil. 2. Detergente. 3. Enzimas. 4. Mancha.  
I. Rita de Cássia Siqueira Curto Valle. II. Universidade Federal de  
Santa Catarina. Graduação em Engenharia Têxtil. III. Título.

Victor Kreuzfeld

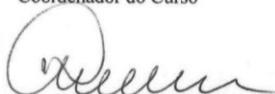
**ENZIMAS COMBINADAS COM TENSOATIVOS E OXIDANTES  
NA LAVAGEM DE TECIDOS DE ALGODÃO MANCHADOS  
COM MOLHO DE TOMATE**

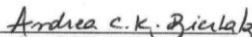
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para  
obtenção do Título de Engenheiro Têxtil, e aprovado em sua forma final  
pelo Curso de Engenharia Têxtil

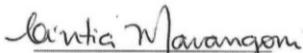
Blumenau, 10 de julho 2019.

  
Prof.<sup>a</sup> Cassia Rosana Lage de Aguiar, Dr.<sup>a</sup>  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

  
Prof.<sup>a</sup> Rita de Cassia Siqueira Curto Valle, Dr.<sup>a</sup>  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
Prof.<sup>a</sup> Andrea Cristiane Krause Bierhartz, Dr.<sup>a</sup>  
Universidade Estadual de Maringá

  
Prof.<sup>a</sup> Cintia Marangoni, Dr.<sup>a</sup>  
Universidade Federal de Santa Catarina



Este trabalho é dedicado a todos aqueles que torceram por mim, me incentivando e reconhecendo o meu empenho em cumprir esta etapa. A minha família, aos meus pais, minha irmã e ao meu avô.



## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me concedido o dom da vida. Por seu imenso amor e cuidado, sou grato.

Aos meus pais, Ivo Kreutzfeld e Gerdlina Fiedler Kreutzfeld, por serem essenciais na minha vida, por todo apoio, incentivo, confiança que sempre tiveram comigo. A minha irmã, Jessica Kreutzfeld, por sempre estar comigo, por todo teu carinho. E ao meu avô, Gerhard Fiedler, por ser um exemplo diário de força de vida. Por toda minha família que acredita em mim, me ajudando sempre.

De uma forma muito especial a minha orientadora, Rita de Cássia Siqueira Curto Valle, por sua proatividade, dedicação, comprometimento, por todos os dias me auxiliando no laboratório na busca de soluções. Por todo conhecimento compartilhado não medindo esforços para a realização desse trabalho, meu muito obrigado!

A todos os professores, por todo esforço, paciência e conhecimento transmitido ao longo do curso. Aos que de qualquer forma me auxiliaram em algum momento na realização deste trabalho, me motivando, buscando sanar minhas dúvidas ou trazendo alguma palavra de boa fé, Adriano Péres, Andrea Cristiane Krause Bierhalz, Bruna Xavier, Cátia Rosana Lange de Aguiar, Cintia Marangoni, Fernanda Steffens, Fernando Ribeiro Oliveira e José Alexandre Borges Valle.

A Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau que proporcionou essa etapa de vida acadêmica, contribuindo com meu crescimento intelectual e pessoal. A Daniela Bressolin, que realizou as análises de ruptura e FTIR. A todos os técnicos que me auxiliaram em laboratório.

A empresa Macler, por meio do Lucas Micheluzzi e da Larrisa Kuehn, pela parceria na realização deste trabalho.

A melhor amiga que a universidade pode me dar, Heloísa Gauche. Obrigado por toda ajuda e auxílio que me destes na realização desse trabalho, pelos momentos de estresse, brigas, choro, risadas, festas e bebidas divididos em todos esses anos. Pelos amigos que compartilharam essa etapa de realização de trabalhos de conclusão de curso, Kerolyn Paula Freire Sousa, Michele Schmidt, Victor Hugo Mondini Correa e Victor Fischer Missfeld.

Aos meus amigos, Mayte Lemke da Veiga, Norton Cardoso, Thiago Roloff e Vitor Barg. Aos que não mencionei, mas que de alguma forma fizeram parte desta etapa da minha vida.

Agradeço a todos!



“Parte da viagem é o fim. Eu fiz essa viagem antes. Tudo vai acontecer exatamente como deveria.”

Tony Stark



## RESUMO

Os incidentes a que estão sujeitas as roupas podem ter consequências temporárias ou permanentes. Manchas podem ter um comportamento ou outro dependendo de diferentes fatores como tipo e características da mancha, tempo de mancha, tipo de material têxtil, condições de processos de lavagem, composição dos produtos de detergência, etc. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de misturas enzimáticas com tensoativos e agentes oxidantes sobre a remoção de manchas de molho de tomate em tecidos de algodão. A metodologia consistiu primeiramente na caracterização do tecido para as amostras e do molho de tomate utilizado para formação das manchas. Determinado o planejamento experimental, ocorreram à preparação e os tratamentos de lavagem das amostras com as enzimas amilase, lipase e uma protease. Posteriormente foi analisada a lavagem com combinação de agentes oxidantes e detergentes comerciais. Os resultados foram analisados a partir de métodos estatísticos ANOVA, com dados obtidos a partir das coordenadas colorimétricas de um espectrofotômetro. Os resultados mostraram que entre os detergentes comerciais testados, nenhum conseguiu remover a mancha. Por se tratar de uma mancha com a coloração típica do licopeno, agentes oxidantes possuem o melhor efeito de remoção da mancha.

**Palavras-chave:** Detergente. Enzimas. Manchas.



## ABSTRACT

Incidents that are subject to clothing may have temporary or permanent consequences. Stains may have a behavior or other depending on different factors such as type and characteristics of the stain, time of stain, type of textile material, conditions of washing processes, composition detergents, etc. The objective of this work was to evaluate the effects of enzymatic mixtures with surfactants and oxidizing agents on the removal of tomato sauce stains in cotton fabrics. The methodology consisted primarily in the characterization of the tissue for the samples and the tomato sauce used for the formation of the spots. Once the experimental design was determined, samples were prepared and washed with the enzymes amylase, lipase and a protease. Subsequently the washing with combination of oxidizing agents and commercial detergents was analyzed. The results were analyzed using statistical methods ANOVA, with data obtained from the colorimetric coordinates of a spectrophotometer. Results showed that none of the commercial detergents tested could remove the stain. Because it is a stain with the typical lycopene color, oxidizing agents have the best stain removal effect.

**Keywords:** Detergent. Enzymes. Stains.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1– A estrutura química da celulose.....	31
Figura 2– Esquema da estrutura da fibra de algodão .....	33
Figura 3 – Projção de um tecido plano estrutura tela .....	34
Figura 4 – Crculo de Sinner .....	36
Figura 5 – Estrutura molecular do tensoativo Aromox®. ....	51
Figura 6 – Impregnação de molho sabor bolonhesa em tecido 100% algodão .....	54
Figura 7 – Processo de uniformização da mancha .....	54
Figura 8 – Secagem das amostras.....	55
Figura 9 – Separação das amostras.....	56
Figura 10 – Aspecto do tecido após manchamento .....	65
Figura 11 – Apresentação dos efeitos da remoção de mancha de molho de tomate com enzimas amilase, protease e lipase em soluo de lavagem de Aramox.....	67
Figura 12 – Apresentação dos efeitos da remoção de mancha de molho de tomate com enzimas amilase, protease e lipase em soluo de Lavagem de cido sulfônico. ....	68
Figura 13 – Apresentação dos efeitos da remoção de mancha de molho de tomate com enzimas amilase, protease e lipase em soluo de lavagem de Berol 175.....	68
Figura 14 – Ao de detergentes comerciais na remoção de mancha de molho de tomate em comparao com o tecido manchado. ....	69
Figura 15 – Ao de agentes oxidantes em combinao com enzimas na remoção de mancha de molho de tomate em comparao com o tecido branco .....	70
Figura 16 – Curva de calibrao de glicose .....	71
Figura 17 – Curva tenso deformao.....	74
Figura 18 – Análises de FTIR dos tratamentos .....	76



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição química média da fibra do algodão .....	35
Tabela 2 – Dados das enzimas utilizadas .....	52
Tabela 3 – Matriz do planejamento experimental fatorial $2^3$ .....	58
Tabela 4 – Solução detergente por caneco .....	59
Tabela 5 – Lavagem com agentes oxidantes .....	59
Tabela 6 – Lavagem com diferentes detergentes comerciais .....	60
Tabela 7 – Determinação da massa seca das amostras de tecido.....	66
Tabela 8 – Atividade enzimática nos tratamentos.....	90



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABINT	Associação Brasileira das Indústrias de NãoTecidos e Tecidos
ABIT	Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confeção
ABRAPA	Associação Brasileira dos Produtores de Algodão
CONMETRO	Conselho nacional de metrologia, normalização e qualidade industrial
FIESC	Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina
FTIR	Espectroscopia no infravermelho com transformada de fourier
ICAC	International Cotton Advisory Committee
LABCT	Laboratório de Cuidados Têxteis
LABENE	Laboratório de Beneficiamento
LABMAM	Laboratório de Meio Ambiente
pH	potencial Hidrogeniônico
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina



## LISTA DE SÍMBOLOS

$a^*$	Eixo de vermelho e verde	
$b^*$	Eixo de amarelo e azul	
$L^*$	Eixo de luminosidade CIE	
$P_f$	Peso final	(g)
$P_i$	Peso inicial	(g)
$P_u$	Peso úmido	(g)
$\Delta a^*$	Diferença da cor no eixo a (vermelho a verde);	
$\Delta b^*$	Diferença da cor no eixo b (amarelo a azul);	
$\Delta E^*$	Diferença total da cor	
$\Delta L^*$	Diferença da cor no eixo da luminosidade;	



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>27</b>
1.1	OBJETIVOS .....	28
<b>1.1.1</b>	<b>Objetivo geral .....</b>	<b>28</b>
<b>1.1.2</b>	<b>Objetivos específicos .....</b>	<b>28</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>29</b>
2.1	A INDÚSTRIA TÊXTIL .....	29
<b>2.1.1</b>	<b>Fibras Têxteis .....</b>	<b>30</b>
2.1.1.1	Fibras de Algodão .....	32
<b>2.1.2</b>	<b>Tecidos .....</b>	<b>34</b>
2.2	LAVANDERIA .....	34
<b>2.2.1</b>	<b>Tempo.....</b>	<b>37</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Temperatura.....</b>	<b>37</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Agentes mecânicos.....</b>	<b>37</b>
<b>2.2.4</b>	<b>Agentes químicos.....</b>	<b>38</b>
2.3	TENSOATIVOS .....	38
<b>2.3.1</b>	<b>Comportamento dos tensoativos em solução .....</b>	<b>40</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Detergentes enzimáticos.....</b>	<b>40</b>
2.4	ENZIMAS.....	41
<b>2.4.1</b>	<b>Amilase.....</b>	<b>43</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Lipase .....</b>	<b>43</b>
<b>2.4.3</b>	<b>Protease.....</b>	<b>43</b>
2.5	AGENTES OXIDANTES.....	44
2.6	MANCHAS EM TECIDOS.....	44
<b>2.6.1</b>	<b>A classificação das manchas .....</b>	<b>44</b>
2.6.1.1	Manchas superficiais .....	45
2.6.1.2	Manchas impregnadas.....	45
<b>2.6.2</b>	<b>Forças de adesão entre as sujidades e os têxteis .....</b>	<b>45</b>
<b>2.6.3</b>	<b>Mancha de Molho de Tomate.....</b>	<b>46</b>

<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>49</b>
3.1	MATERIAIS.....	49
<b>3.1.1</b>	<b>Substrato Têxtil.....</b>	<b>49</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Molho de tomate.....</b>	<b>49</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Enzimas.....</b>	<b>50</b>
<b>3.1.4</b>	<b>Tensoativos .....</b>	<b>50</b>
3.1.4.1	Aromox®.....	50
3.1.4.2	Berol 175 .....	51
3.1.4.3	Ácido Sulfônico .....	51
<b>3.1.5</b>	<b>Oxidantes.....</b>	<b>51</b>
<b>3.1.6</b>	<b>Detergentes comerciais .....</b>	<b>52</b>
3.1.6.1	Detergente comercial F .....	52
3.1.6.2	Detergente comercial G .....	52
3.1.6.3	Detergente comercial H .....	52
3.1.6.4	Detergente comercial I.....	52
3.1.6.5	Detergente comercial J.....	52
<b>3.1.7</b>	<b>Equipamentos.....</b>	<b>53</b>
3.2	MÉTODOS .....	53
<b>3.2.1</b>	<b>Caracterização do tecido .....</b>	<b>53</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Caracterização do molho.....</b>	<b>53</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Procedimento de produção de mancha .....</b>	<b>54</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Lavagem.....</b>	<b>56</b>
<b>3.2.5</b>	<b>Solução detergente .....</b>	<b>57</b>
<b>3.2.6</b>	<b>Lavagens com oxidantes.....</b>	<b>58</b>
<b>3.2.7</b>	<b>Ensaio com detergentes comerciais.....</b>	<b>58</b>
<b>3.2.8</b>	<b>Medição de cor .....</b>	<b>59</b>
<b>3.2.9</b>	<b>Determinação da atividade enzimática .....</b>	<b>60</b>
3.2.9.1	Determinação da atividade da $\alpha$ -amilase .....	60
3.2.9.2	Determinação da atividade da protease.....	61

3.2.9.3	Determinação da atividade da lipase.....	62
<b>3.2.10</b>	<b>Análise estatística .....</b>	<b>62</b>
<b>3.2.11</b>	<b>Ensaio Mecânico.....</b>	<b>62</b>
<b>3.2.12</b>	<b>Espectroscopia no infravermelho com transformada de fourier (FTIR) .....</b>	<b>63</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>64</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO TECIDO .....	64
4.2	CARACTERIZAÇÃO DO MOLHO DE TOMATE .....	64
4.3	TECIDOS MANCHADOS .....	64
4.4	ENSAIOS DE LAVAGEM.....	66
<b>4.4.1</b>	<b>Ensaio com enzimas.....</b>	<b>66</b>
<b>4.4.2</b>	<b>Ensaio com detergentes comerciais.....</b>	<b>69</b>
<b>4.4.3</b>	<b>Ensaio de lavagem com agentes oxidantes.....</b>	<b>70</b>
4.5	ANÁLISE DE ATIVIDADES ENZIMÁTICAS .....	71
<b>4.5.1</b>	<b>Amilase.....</b>	<b>71</b>
<b>4.5.2</b>	<b>Protease.....</b>	<b>72</b>
<b>4.5.3</b>	<b>Lipase .....</b>	<b>73</b>
4.6	ENSAIO MECÂNICO.....	73
4.7	ANÁLISES DE FTIR .....	75
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>77</b>
<b>6</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>79</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>81</b>
	<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>89</b>
	<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>90</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A vida útil de peças de vestuário depende fundamentalmente da sua aparência. No dia-a-dia, essas peças estão sujeitas a acidentes que podem impedir o seu uso ou redirecionar para situações menos nobres. Os incidentes a que estão sujeitas as roupas podem ter consequências temporárias ou permanentes e manchas podem ter um comportamento ou outro dependendo de diferentes fatores como tipo e características da mancha, tempo de mancha, tipo de material têxtil, condições de processos de lavagem, composição dos produtos de detergência, etc. Os aspectos relacionados à durabilidade dos materiais têxteis têm significados relacionados ao sentimento de perda de um item que pode ter valor afetivo, perdas financeiras, aspectos visuais que podem ter influencia de aparência de sujo e redução de ciclo de vida de um produto que impacta ambientalmente pelo descarte prematuro de um bem (GERVINI, 1995).

No que tange à limpeza de materiais têxteis, diferentes produtos têm sido encontrados nas prateleiras dos mercados com diferentes especificidades nos diversos detergentes de roupas encontrados atualmente, como por exemplo, os detergentes neutros, biodegradáveis, produtos para roupas esportivas, detergentes para roupa de bebês, dentre outros (SCHMITZ; STAMMINGER, 2014). Além dos detergentes existe uma outra gama de produtos destinados a remoção de sujidades mais difíceis, branqueadores e removedor de manchas tanto para roupas brancas como coloridas.

As formulações dos produtos comerciais são segredos industriais. Apesar de haver conhecimento isolado da função de cada componente de forma geral, poucos estudos demonstram as interações entre eles e ações específicas sobre determinado tipo de mancha.

Existe uma crescente preferência dos consumidores em relação aos detergentes líquidos para lavanderia (STONER, 2006). Os produtos líquidos, no entanto, impõem um desafio ao desenvolvedor de detergentes contendo enzimas com uma alta estabilidade. Tipicamente existe uma perda da atividade enzimática no meio líquido devido a interações indesejadas com os componentes do detergente e com a degradação autolítica.

Como vantagens, as enzimas em detergentes apresentam especificidade e elevada atividade catalítica, fazendo delas interessante para remoção de sujeiras sem degradar os tecidos (NIELSEN *et al.*, 2009). No entanto, uma formulação de detergente contará com diferentes componentes que devem ser compatíveis de forma a que cada

um mantenha sua função. Testes são necessários para avaliar interações favoráveis ou não, tanto com o material têxtil como com a sujidade que se deseja remover.

São muito comuns acidentes relacionados com derramamento de alimentos sobre roupas no dia-a-dia das pessoas (SMULDERS, 2002). E molhos de tomate, em suas diferentes composições, são utilizados em uma série de pratos, sendo o mais comum a tradicional macarronada. A coloração da mancha causada por esse tipo alimento é vermelho-alaranjada bastante intensa e de difícil remoção, dependendo do conteúdo do molho (ROSA *et al.*, 2011).

Esse trabalho teve parceria entre a Engenharia Têxtil da UFSC e a empresa Macler Produtos Químicos Ltda. A Macler é uma empresa especializada em tensoativos e polímeros destinados ao setor de higiene, limpeza e cosméticos. Por meio dessa parceria foram determinados os estudos que deveriam ser realizados, tendo em vista a necessidade de geração de conhecimento a respeito da ação de enzimas e tensoativos sobre a remoção de sujidades advindas de molho de tomate. Para esse estudo então ficaram estabelecidos os tensoativos e as enzimas que seriam utilizados e no decorrer do trabalho foram acrescentados os testes combinados com agentes oxidantes.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de misturas enzimáticas com tensoativos e agentes oxidantes sobre a remoção de cor de manchas de molho de tomate em tecidos de algodão.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo deste trabalho foram realizados os seguintes objetivos específicos:

- i. Avaliar lavagens com enzimas e agentes oxidantes;
- ii. Analisar a detergência por espectrofotometria;
- iii. Verificar a atividade das enzimas utilizadas nos tratamentos;
- iv. Avaliar a influencia das lavagens no comportamento mecânico e na composição química.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os processos de lavagem de materiais têxteis requerem estudos para a geração de conhecimentos acerca dos parâmetros físicos e químicos que podem estar envolvidos na remoção das diferentes sujidades relacionadas aos aspectos dos tecidos. Cada tipo de fibra apresenta comportamento diferente frente às características de manchas a que os tecidos estão sujeitos durante seu uso.

A compreensão dos processos de lavanderia utilizados no tratamento do algodão requer um embasamento teórico acerca das propriedades da fibra de algodão e um conhecimento das características de tensoativos, enzimas e compostos oxidantes passíveis de utilização nestes processos.

Neste capítulo será apresentada uma revisão da literatura sobre o cenário em que se encontra a indústria têxtil, aprofundando sobre o algodão e a biotecnologia aplicada na remoção de manchas deste substrato, destacando as enzimas amilase, lipase e protease.

### 2.1 A INDÚSTRIA TÊXTIL

A indústria têxtil é uma das manufaturas mais importantes e amplamente visíveis em todo mundo por conta de uma necessidade humana de vestuário (FUJITA, 2015). Além de apresentar um significado muito importante nas dimensões econômicas, sociais, culturais e políticas, apresenta grande influência em costumes e tendências. A importância dos artigos têxteis na vida cotidiana pode ser verificada pelo aumento da produção global de fibras, passando de 10 milhões de toneladas em 1950 para 100 milhões de toneladas em 2017 (TEXTILE EXCHANGE, 2018).

Para fazer frente a uma demanda de larga escala no mercado interno e externo, desenvolveu-se uma infraestrutura produtiva que se transformou em parques industriais. Esta infraestrutura constitui toda cadeia têxtil, uma rede de segmentos produtivos independentes, desde a obtenção das fibras ao produto acabado (FUJITA, 2015).

A indústria têxtil engloba a preparação da fibra, a fiação, a tecelagem, as malhas, não tecidos e os acabamentos. A confecção de artigos de vestuário e de acessórios, dizem respeito à indústria de vestuário. A produção têxtil vai para além do vestuário, havendo outros produtos como os têxteis-lar, os têxteis técnicos, os não tecidos e artigos de revestimentos (BORLIDO, 2006).

Dentro da cadeia têxtil tem-se ainda toda a série de processos de limpeza dos artigos, que podem ocorrer em nível doméstico ou em lavanderias domésticas, que são assim identificadas por atender clientes em uma pequena escala, ou ainda em lavanderias industriais que atendem roupas institucionais, como as de hospitais, indústrias de alimentos, hotéis/moteis, etc. A indústria de cuidados têxteis (“Textile Care”) pode aplicar os métodos de lavagem a seco (com solventes) ou a úmido, em meio aquoso (VALDEZ *et al.*, 2013). Assim como ocorre em toda a cadeia têxtil, existe uma busca por processo de lavagem mais eficiente com características ambientais mais amigáveis, com menor consumo de água e energia e redução de produtos químicos (LAITALA; BOKS; KLEPP, 2011).

Lavanderias recebem peças de vestuário de diferentes composições, podendo ser de fibras naturais, manufaturadas ou mesclas. Dependendo da composição pode-se se ter maiores afinidades por determinadas sujidades, implicando em maiores dificuldades de remoção, distintas resistências físicas ou químicas durante o processo de higienização das roupas (LAITALA; BOKS; KLEPP, 2011). Os aspectos de lavagens que devem ser considerados para cada tipo de material devem vir descritos nas etiquetas de cada produto (ABNT NBR NM ISO 3758:2013)

### 2.1.1 Fibras Têxteis

É a partir das fibras que tudo se inicia na área têxtil. O tipo de fibra é um dos fatores que implicam na qualidade e na durabilidade de qualquer artigo (PEREIRA, 2011). Segundo Araújo e Castro (1986), fibras têxteis são materiais filiformes caracterizados por sua alta flexibilidade, finura e grande comprimento em relação à dimensão transversal máxima.

De acordo com CONMETRO (2008), “Fibra têxtil ou filamento têxtil é toda matéria natural, de origem vegetal, animal ou mineral, assim como toda matéria artificial ou sintética, 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”.

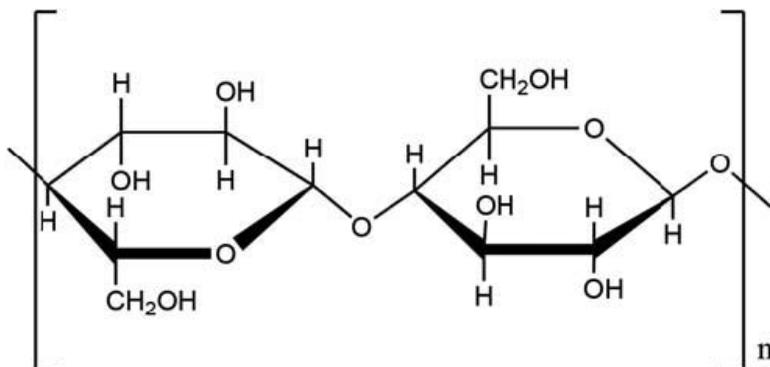
Com base no consumo de fibras, o Brasil ocupa a quinta posição no *ranking* de participação mundial de produção em Têxtil & Confecção, segundo dados publicados no documento de Rotas Estratégicas Setoriais 2022 – Têxtil & Confecção (FIESC, 2014).

Anualmente, sua cadeia produtiva gera aproximadamente US\$ 300 bilhões. Somente a fibra de algodão produzida por ano, em torno de 20 milhões de toneladas, gera o equivalente a US\$ 35 bilhões, comprovando a importância mundial e econômica dessa fibra-oleagiosa (EMBRAPA, 2006).

As fibras são classificadas conforme sua origem, compreendidas em fibras de origem natural (vegetais ou animais) e fibras manufaturadas. Dentre as fibras naturais, destacam-se o algodão e a lã. As fibras manufaturadas, obtidas por processos industriais, podem ser divididas em sintéticas (polímeros produzidos por síntese química) e artificiais (polímeros naturais transformados por ação de reagentes químicos) (ARAÚJO; CASTRO, 1986).

Todas as fibras naturais de origem vegetal são constituídas principalmente de celulose, polímero encontrado na natureza combinado com outras substâncias, como por exemplo, a lignina, resinas, gomas, ceras, gorduras e pigmentos. Segundo Twardokus (2004), a celulose tem estrutura semicristalina, e é um polissacarídeo de cadeia longa e alta massa molar. As moléculas de celulose são orientadas paralelamente ao comprimento da fibra, com as porções amorfas com um ordenamento molecular aleatório com poucas ligações de hidrogênio, que dá à fibra características de elevada afinidade com a água. Na Figura 1 apresenta-se a molécula de celulose.

Figura 1– A estrutura química da celulose



Fonte: Mather; Wardman, (2015).

### 2.1.1.1 Fibras de Algodão

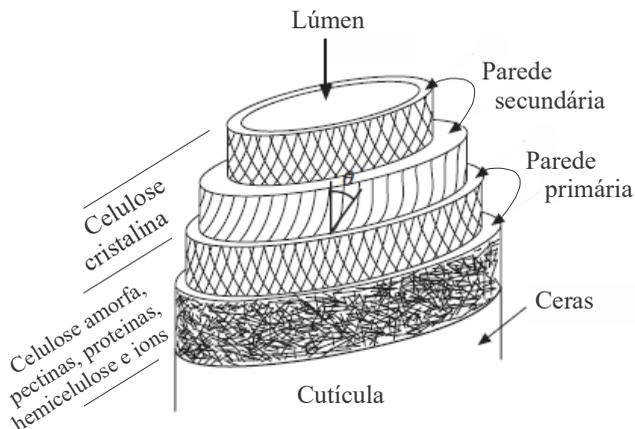
Entre as fibras naturais, a fibra do algodão é a mais consumida pela indústria têxtil nacional e mundial, em razão das qualidades indiscutíveis de suas características físicas: alongamento, brilho, finura, comprimento, uniformidade de comprimento, maturidade, resistência química, resistência mecânica, cor e sedosidade. Estas características são transferidas para o fio, tecido e para a confecção, realçando a diversidade de aplicação e beleza, além da impressão de bem-estar ao usuário (SANTANA *et al*, 1999).

Em termos mundiais, atualmente o algodão é produzido em mais de 60 países, nos cinco continentes. Para o Brasil, o algodão tem uma representatividade econômica, visto que ocupa a quinta colocação em produção mundial dessa fibra, com uma produção da ordem de 2,8 milhões de toneladas, safra 2016/2017 (ABRAPA, 2019). Além disso, é utilizada como matéria prima para diversos itens do vestuário e outros produtos têxteis nas indústrias do país.

Os parâmetros mais importantes referentes à qualidade desta fibra são o comprimento da fibra, maturidade, uniformidade, resistência da fibra, grau de branco, e alongamento. Estes fatores contribuem para um processamento mais rápido e de maior qualidade. Alguns desses afetam diretamente o preço de mercado do algodão (MOORE, 1996).

A fibra de algodão é morfológicamente oca, cuja estrutura é disposta em camadas de microfibrilas de celulose ordenadas. Em sua parede primária, mais externa, a celulose se dispõe em forma de uma espécie de malha pouco organizada. Na Figura 2 demonstra-se um esquema da estrutura da fibra do algodão e na Tabela 1 apresenta-se a composição química da fibra integral, sendo que após o beneficiamento a composição é alterada com a remoção dos compostos hidrofóbicos.

Figura 2– Esquema da estrutura da fibra de algodão



Fonte: Adaptado de Eichhorn *et al.* (2009).

Tabela 1 – Composição química média da fibra do algodão

Substância	Porcentagem
Celulose	88 - 96 %
Pectina	0,7 - 1,2 %
Cera	0,4 - 1,0 %
Proteínas	1,1 - 1,9 %
Matéria orgânica	0,5 - 1,0 %
Matéria mineral	0,7 - 1,6 %

Fonte: Adaptado de Mather e Wardman (2015).

O algodão possibilita a produção de artigos têxteis com excelentes propriedades de lavagem, devido a sua grande resistência a banhos em alta temperatura e aos detergentes alcalinos, o que torna uma fibra interessante para diversas aplicações. Comparando o algodão com outros materiais têxteis, o algodão possui uma resistência a tratamentos domésticos capazes de destruir outras fibras, seja por encolhimento, desintegração, dissolução, entre outros (MARSH, 1957).

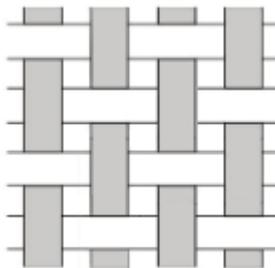
## 2.1.2 Tecidos

Para se transformarem em um material têxtil as fibras de algodão geralmente passam pelo processo de fiação e formação de tecido. Os parâmetros desses processos tornam as fibras mais ou menos coesas pela quantidade de fibras que compõem o fio, grau de torção, e densidade de fios que formam um tecido. Essa coesão pode ser um fator que venha a favorecer o processo de manchamento e limpeza.

Existem diversas tecnologias para a formação de tecidos, destacando-se a tecelagem, malharia, não tecidos e os entrançados. Na tecelagem, os tecidos convencionais produzidos pelo entrelaçamento de dois conjuntos de fios perpendiculares entre si, isto é, trama e urdume, formam uma estrutura estável (NAWAB; HAMDANI; SHAKER, 2017).

No segmento de tecidos existem diversas estruturas para formação de tecidos com diferentes características, sendo a mais fundamental a estrutura tela. Na Figura 3 representa-se esta estrutura, onde são representados os fios de urdume na vertical e os fios de trama na horizontal, sendo essa a utilizada nos ensaios deste trabalho.

Figura 3 – Projeção de um tecido plano estrutura tela



Fonte: Adaptado de ICAC (2019).

## 2.2 LAVANDERIA

Tratando de peças de vestuário, depois de serem utilizadas pelo consumidor, as peças seguem por um ciclo de usos e lavagens. A higienização das roupas tem origem quando Luiz Pasteur provou que grande parte das doenças que afetam a saúde das pessoas são causadas por microorganismos que se desenvolvem nas sujidades. Conseqüentemente, a lavagem das roupas começou a ser realizada com

o intuito de higienizar as roupas, evitando doenças e proporcionando uma aparência mais agradável. A lavagem da roupa tem como finalidade primordial tornar o artigo limpo, eliminando todas as sujidades fixadas nas fibras do tecido, mantendo preservadas as fibras e as cores, além de manter as características de maciez e elasticidade do artigo. Toda sujeira no vestuário tem uma dependência direta de interação entre o substrato e a sujidade. Assim, toda sujeira pode ser de fácil, de difícil remoção e/ou pode-se ter uma sujidade permanente (GERVINI, 1995).

Detergência é a quantidade de remoção de compostos indesejáveis depositados em superfícies sólidas (muitas vezes dada por percentual). A eficiência da detergência é um processo complexo (KISSA, 1973) dependente de diversos parâmetros (SMULDERS *et al.*, 2002; CASTRO, 2015; KALAK E CIERPISZEWSKI, 2015): composição da solução de lavagem, o(s) surfactante(s) (estrutura e concentração), tipo de sujeira, dureza da água, tempo de lavagem, tipo e velocidade de agitação, condições hidrodinâmicas, temperatura e nível de eletrólito, bem como a natureza da superfície sólida, a sua estrutura química e a construção dos têxteis. Em relação à mancha, outra série de fatores que afetam a sua liberação do tecido, como a natureza (oleoso ou particulado, hidrofóbico ou hidrofílico), tipos de fibra (tipo de fibra: superfície hidrofílica ou hidrofóbica, lisa ou porosa, e a carga eletrostática), natureza do têxtil (construção têxtil: fio (fiado ou filamento), tipo de construção do tecido, os efeitos da preparação (tamanhos de urdidura e de trama, pré-tratamento e acabamento), bem como condições de lavagem). Kalak e Cierpiszewski (2015) afirmam que o processo de lavagem não pode ser descrito como um processo simples, não dependendo somente do tipo de tecido e da mancha.

Os métodos de higienizar os substratos têxteis podem ser de duas formas, por meio do método empírico ou utilizando de produtos industrializados. Todo tipo de substrato possui uma forma correta de ser higienizado para não interferir de forma prejudicial nas características do material, devendo assim receber um tratamento especial. Deve ser levado em consideração o tipo de fibra (natural ou manufaturada) de que compõe o tecido, sua cor assim como as sujidades (MEZZOMO, 1988).

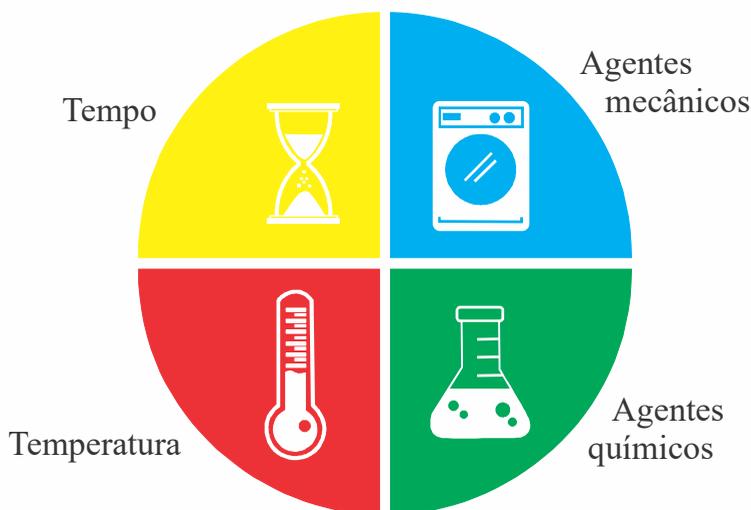
A limpeza de substratos têxteis é uma atividade doméstica feita por milhões de pessoas todos os dias. Dependendo da região, a preservação e a limpeza dos têxteis podem ser realizadas manualmente ou em uma máquina de limpeza doméstica (SCHMITZ; STAMMINGER, 2014).

A lavagem da roupa é considerada um processo complexo e dinâmico, envolvendo diversas reações químicas simultaneamente, que

exige tempo e esforço, além dos materiais necessários como, detergente, amaciantes, alvejantes e acidulantes. Sabendo que nem todas as pessoas possuem um devido conhecimento sobre alguns processos, contudo por muitas vezes essas mesmas pessoas conseguem atingir o objetivo de lavar as roupas sem alteração ou danificação do substrato. Promovendo assim, características higiênicas contribuindo com sua conservação (LEÃO, 2010; CASTRO, 2015).

O principal modelo das interferências em um processo de limpeza foi proposto em 1959 por Hebert Sinner, um químico alemão. O modelo foi denominado Círculo de Sinner, e relaciona agentes térmicos, mecânicos, químicos e o tempo necessário para retirar as sujidades aderidas às superfícies, conforme mostrado na Figura 4 (FORNI, 2007). Tem como objetivo demonstrar que a redução de um fator pode ser equilibrada por qualquer um dos três outros fatores (PICCHIAI, 2013).

Figura 4 – Representação do Círculo de Sinner



Fonte: Adaptado de Monteiro (2014).

### **2.2.1 Tempo**

O tempo da reação determina o rompimento das ligações entre sujeira e substrato durante o processo de limpeza. Quanto maior for o tempo em que as sujidades forem expostas aos compostos químicos, mais ligações serão rompidas (FORNI, 2007). Desta forma, o artigo se torna mais limpo de acordo com o tempo de limpeza, tendo em vista que a remoção é mais fácil na parte externa da sujidade e a parte interna implica numa maior dificuldade (CASTRO, 2015).

O tempo estabelecido para o processo de limpeza é estritamente necessário para que todas as reações ocorram de forma completa. Além disso, é no início do procedimento que quase todas as reações químicas ocorrem com maior velocidade (SANTOS, 2010).

### **2.2.2 Temperatura**

Pelos estudos de cinética química, com o aumento de temperatura, existe uma maior agitação das moléculas. A energia de ativação é uma energia inicial necessária, fornecida para que as reações ocorram, sendo a temperatura uma fonte desta energia (FORNI, 2007). A ação da temperatura contribui com a difusão da mancha, facilitando a transferência de massa e alterando as características do líquido, auxiliando a ação dos agentes químicos, acelerando a velocidade das reações químicas (MONTEIRO, 2014).

### **2.2.3 Agentes mecânicos**

A ação mecânica é indispensável para remover material particulado, quebrar maiores agregados em menores e prevenir que partículas já desprendidas voltem a se depositarem e se aderirem ao substrato têxtil, exercendo um papel fundamental na redução de tempos nos ciclos de lavagem (SANTOS, 2010). A difusão da ação mecânica presente durante o processo de limpeza de um substrato têxtil possui influência direta na retenção entre uma sujidade e a fibra têxtil (KISSA, 1979).

A ação mecânica pode ser obtida por meio do escoamento e das colisões do fluido e a superfície da sujidade. Esta ação contribui com determinadas tensões que auxiliam no desprendimento de partículas de sujidade aderidas na superfície. Além deste efeito, a ação mecânica

permite uma maior homogeneização da solução química (FORNI, 2007).

### 2.2.4 Agentes químicos

Santos (2010) em seus estudos identifica que além da água, as soluções de detergentes são um dos principais produtos químicos usados na higienização. Estas soluções são formadas principalmente com agentes tensoativos e elementos complementares.

As soluções detergentes utilizadas na limpeza de diferentes artigos são alcançadas pela ação química. Os agentes químicos operam por meio de reações químicas, ação do pH, oxidação e coagulantes de proteínas. A alteração de concentração das soluções químicas é a principal forma de aumentar ou diminuir efeitos de agentes químicos (MONTEIRO, 2014). Em determinadas concentrações de detergentes o tempo de operação é reduzido, atingindo a maximização das taxas de limpeza (SANTOS, 2010).

Uma forte preferência dos consumidores em relação aos detergentes líquidos para lavanderia tem crescido nas últimas décadas (STONER, 2006), principalmente devido à comodidade do consumidor (LUND *et al.*, 2012a). Os produtos líquidos, no entanto, impõem um desafio ao desenvolvedor de detergentes contendo enzimas com uma alta estabilidade. Tipicamente existe uma perda da atividade enzimática no meio líquido devido a interações indesejadas com os componentes do detergente e com a degradação autolítica (LUND *et al.*, 2012b).

### 2.3 TENSOATIVOS

Chama-se tensoativo o segmento dos químicos que apresentam na mesma molécula uma parte com característica apolar ligada a outra parte com característica polar. Uma vez dispersa ou dissolvida num líquido, é capaz de modificar a tensão interfacial entre esse líquido e outro meio, pelo fato de as suas moléculas se localizarem na interface (polar e apolar) entre os dois meios considerados (DALVIN, 2011). A estrutura da porção hidrofóbica tem significativo efeito sobre as propriedades dos surfactantes (SMULDERS, 2002).

Os tensoativos estão entre os produtos mais versáteis da indústria química. Suas propriedades são essenciais para uma ampla gama de aplicações industriais envolvendo: umectância, detergentia, emulsificação, lubrificação, emoliência, solubilização e dispersão de fases, entre outros. (MYERS, 1999).

É crescente o número de surfactantes para uso em lavanderia encontrados no mercado, sendo os critérios para escolha do surfactante, além do desempenho, características toxicológicas e ecológicas (SMULDERS, 2002).

A forma de classificação mais comum dos tensoativos é de acordo com a carga de seu grupo polar. Desta forma são classificados conforme a carga do grupo hidrofílico. É por meio dessa classificação que os tensoativos são divididos em aniônicos, catiônicos, e não iônicos. Podem ainda serem adicionadas a essas três classes os tensoativos chamados de anfóteros e zwitteriônicos (DALTIM, 2011).

Tratando-se do mercado brasileiro (Quadro 1), atualmente os tensoativos mais consumidos são os aniônicos e os não-aniônicos, na forma de detergentes, dispersantes, emulsificantes e umectantes (GALGANO, 2012).

Quadro 1 – Descrição e caracterização resumida do mercado de tensoativos no Brasil.

	Tensoativo aniônico	Tensoativo não-aniônico	Tensoativo catiônico	Tensoativos anfóteros
Características	Região polar apresenta carga negativa	Não apresentam cargas verdadeiras	Região polar apresenta carga positiva	Dependendo do pH da solução, se comportam como aniônicos ou catiônicos
Mercado brasileiro	Segmento de tensoativos mais utilizados (volume e vendas)	Segundo subsegmento mais utilizado (volume e vendas) e com maior variedade em número de moléculas	Obteve o maior crescimento (volume e vendas) em 2012. Possui maior projeção de crescimento.	Subsegmento menos representativo no mercado nacional e mundial
Principais produtos	<b>LAS</b> (Alquilbenzeno sulfonato linear) <b>LESS</b> (Lauril éter sulfato de sódio)	Polietilenoglicóis, Álcoois, aquifênóis e aminas etoxiladas	Sais quaternários de amônio	Betainas
Principais produtos consumidores	Sabões em pó para roupas, detergentes para louça e xampus	Detergentes, produtos de limpeza industrial, outras aplicações industriais, emoliantes e umectantes para cosméticos.	Limpeza industrial e institucional, amaciantes e detergentes	Xampus, sabões líquidos e detergentes para louça

Fonte: Adaptado de Frost e Sullivan (2013).

Os tensoativos aniônicos possuem carga negativa na região polar; são os mais utilizados pela indústria em geral, sendo relativamente de baixo custo. Os grupos polares aniônicos são: carboxilato, sulfato, sulfonato e fosfato. Esses grupos podem ser associados a cadeias polioxietilênicas, como no alquil éter sulfato. Possuem características de alta detergência, alto poder espumante e umectância, sendo amplamente

utilizados em sabões, detergentes de louça, sabonetes e xampus (LIMA, 2016).

Os tensoativos não iônicos, não apresentam carga verdadeira, mas apenas concentração de cargas em virtude das ligações polares das moléculas. A solubilidade decresce com o aumento da temperatura na maioria dos tensoativos não iônicos (VALE, 2009). São tensoativos compatíveis com todas as outras classes de tensoativos. Apresentam propriedades de alto poder de redução da tensão superficial e interfacial, porém, menor poder de detergência e formação de espuma. São frequentemente utilizados em formulações de detergentes combinados com tensoativos aniônicos.

### **2.3.1 Comportamento dos tensoativos em solução**

Em meio aquoso é comum usar as denominações de grupos dos tensoativos como hidrofóbico e hidrofílico. A parte hidrofílica é constituída por grupos iônicos ou não-iônicos polares e é também chamada de cabeça-polar. A parte hidrofóbica constitui-se normalmente de uma ou mais cadeias carbônicas ramificadas ou não, fluorocarbônicas ou siloxânicas, contendo de oito a dezesseis átomos de carbono e pode ser chamada de cauda (GALGANO, 2012).

Por apresentar as características hidrofílica e lipofílica na mesma molécula, não apresentam nunca uma total estabilidade na sua dissolução, seja no meio polar (água) ou no meio apolar (óleo). Essa instabilidade que proporciona aos tensoativos diferenciadas características dos outros compostos (DALTIM, 2011).

Quando uma molécula de tensoativo é dissolvida em água, a presença da parte hidrofóbica causa uma distorção da estrutura da água, o que contribui com a energia livre do sistema. Este aumento é resultado da diminuição da entropia do sistema devido à estruturação das moléculas de água ao redor da cadeia hidrofóbica (“hidratação hidrofóbica”) e à diminuição nos graus de liberdade da cadeia hidrofóbica (MOROI, 1992; MYERS, 1999; ROSEN; KUNJAPPU, 2012; TANFORD, 1991).

### **2.3.2 Detergentes enzimáticos**

Uma linha alternativa da indústria têxtil que vem se desenvolvendo são os processos enzimáticos. Sendo introduzidos no processamento têxtil de modo a satisfazer os padrões de qualidade do produto e diminuir a alta necessidade de energia, água e produtos

químicos, gerando uma carga menor de efluente, sendo este mais brando (SILVA, 2013).

Manchas em substratos têxteis derivadas de fontes com amido, gordurosas ou de origem proteica, após secarem podem se tornar de difícil remoção, particularmente em lavagens a baixa temperatura. As enzimas amilolíticas, lipolíticas e proteolíticas, são geralmente capazes de eliminar tais manchas sem grandes problemas durante a lavagem (SMULDERS, 2002), por meio da hidrólise dos respectivos substratos (ALVAREZ, 1994). Deste modo, o segmento da indústria de produtos de limpeza estuda intensivamente a aplicação de enzimas para o uso em detergentes para roupas, sendo assim denominados como detergentes enzimáticos (ZIMMER *et al.*, 2009).

Esses detergentes enzimáticos são fáceis de serem manuseados, podendo ser usados em baixas temperaturas e suave ação mecânica, não sendo corrosivos, de baixa toxicidade. Tem maior estabilidade quando comparados com detergentes comuns (SEKHON; SANGHA, 2004).

## 2.4 ENZIMAS

Enzimas são proteínas de alta massa molar, produzidas por todos os organismos vivos e são catalisadores bioquímicos muito eficientes em reações químicas, com capacidade de acelerar uma reação numa ordem de grandeza de  $10^3$  a  $10^6$  vezes comparado a uma reação não catalisada (BUGG, 2012). São altamente específicas, tanto na escolha de seus reagentes quanto na reação química a catalisar (substrato) (BERG; TYMOCZKO; STRYER, 2014), e são categorizadas de acordo aos substratos em que atuam (MATHER; WARDMAN, 2015).

A utilização de enzimas tem sido descrita desde tempos remotos, mas os estudos se intensificaram a partir do século XX, devido ao interesse industrial, e avanços científico e tecnológico nas áreas de genética e processos biotecnológicos, sendo as fontes produtoras majoritariamente microbiológicas (COELHO, 2008; ZIMMER *et al.*, 2009). Aliado a isso, uma melhor compreensão da produção bioquímica tornou a tecnologia das enzimas mais acessível, que junto aos avanços nos métodos de utilização destes catalisadores, possibilitou um crescimento deste mercado (SHARMA; CHISTI; BANERJEE, 2001).

As enzimas precisam de condições ideais para desenvolver sua atividade, sendo que a atividade tem dependência de fatores do meio que a enzima se encontra para apresentar uma máxima eficiência de atividade (BAILEY *et al.*, 1986). Esses fatores são de característica particular de cada enzima, sendo pH, temperatura e força iônica. Caso

esses fatores não estejam ideais, existe uma diminuição da eficiência enzimática, podendo até haver a desativação da atividade da enzima (BORBA *et al.*, 2017).

Aplicações enzimáticas podem ajudar na redução dos tempos de processos, sendo os resultados comparados aos processos convencionais. Destacando-se como uma tecnologia que proporciona pleno suporte à indústria têxtil nesta atual tendência em reduzir as condições agressivas dos processos, além de proporcionar inovação com excelente custo-benefício, melhorando a qualidade dos artigos têxteis e em total acordo com as regulamentações ambientais (MOHAMED; ALY, 2004). Industrialmente as enzimas são amplamente usadas na área têxtil, durante os processos de fabricação e em pós-tratamento, como a lavagem (MATHER; WARDMAN, 2015).

Shrimali e Dedhia (2016) citam os benefícios do uso de enzimas em processos têxteis: aumento da eficiência dos processos, economia de energia, condições de processos suaves, baixo consumo de recursos (água e compostos químicos), redução de emissão de CO<sub>2</sub>, melhoria da qualidade dos produtos têxteis, diminuição de tempo de processo, baixa carga de efluente, aumento da produtividade e processo seguro. Por se tratar de uma molécula proteica que participa de reações metabólicas, atua nas reações em condições amenas de temperatura, pH e pressão, comparativamente aos catalisadores químicos, e sem produzir produtos de composição mista ou contaminados, com elevada especificidade, em relação ao substrato, e são biodegradáveis (NIELSEN *et al.*, 2009).

As enzimas, segundo a resolução normativa – RDC Nº 55, de 14 de novembro de 2012 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), devem ser administradas como aditivos ou coadjuvantes nas formulações dos produtos de limpeza (Saneantes). Podem apenas ser utilizadas as enzimas amilolíticas, proteolíticas, lipolíticas e as celulasas. Dependendo da sujidade no substrato têxtil, devem ser utilizadas enzimas específicas, uma vez que cada enzima possui uma função (BRASIL, 2003).

Existe o conhecimento de enzimas geneticamente modificadas com maior estabilidade em ambientes alcalinos combinados a agentes oxidantes. Ampliam a faixa ideal de temperatura de atuação, sendo mais eficientes quando comparadas a enzimas não modificadas, possibilitando sua utilização em detergentes enzimáticos para roupas (MOSSOTI; INNOCENTI; GALANTE, 2003).

As enzimas mais utilizadas na formulação de detergentes são as proteases, amilases lipases e celulasas (KUMAR *et al.*, 2008). Por muito tempo somente as proteases eram consideradas ingredientes úteis em

detergentes modernos. Entretanto, as enzimas amilases, celulasas e as lipases estão cada vez mais ganhando visibilidade de atuação no mercado, sendo utilizadas em produtos específicos de limpeza de equipamentos industriais e em lava-roupas de uso doméstico (ARGÜELLO *et al.*, 2005).

#### **2.4.1 Amilase**

Essas enzimas são específicas na hidrólise de ligações glicosídicas catalisando a amilopectina do amido. Uma possível função é a de remoção de manchas de amido, que não aderem somente na fibra de algodão e celulose, podendo se ligar também às manchas onde formam um fino filme sob a camada superficial do tecido (NOVOZYMES, 2003).

Existe uma gama de amilases no mercado, podendo ser as exoamilases que hidrolisam, sucessivamente, ligações glicosídicas a partir da extremidade não redutora das mesmas, resultando em produtos finais pequenos como por exemplo as glicoamilases; ou endoamilases, que atuam ao acaso ao longo da cadeia de amilose e amilopectina hidrolisando as ligações  $\alpha$ -1,4 e liberando maltose, glicose e dextrina. A  $\alpha$ -amilase é a enzima amilolítica mais importante e popular entre as amilases de uso industrial (GUPTA *et al.*, 2003).

#### **2.4.2 Lipase**

As lipases são enzimas que catalisam a hidrólise da ligação éster entre o glicerol e ácidos graxos. São utilizadas frequentemente em sabões para auxiliar na remoção de manchas de gordura de roupas e objetos. As lipases têm como função remover óleos e gorduras da superfície dos tecidos. Caso a remoção seja de baixo rendimento forma-se uma camada fina sob a superfície do tecido da mesma maneira que ocorre com a amilase e a protease. Com a utilização das propriedades da lipase esta camada pode ser removida (BRASIL, 2003).

#### **2.4.3 Protease**

Proteases são enzimas que hidrolisam ligações peptídicas entre os aminoácidos das proteínas. As proteases têm a função de remover proteínas como de sangue e ovo que tendem a aderir nas manchas sobre o tecido formando uma espécie de cola (filme) que dificulta a ação do

detergente sobre essas manchas da superfície. As proteases têm a propriedade de degradar este filme e liberar a mancha (BRASIL, 2003).

## 2.5 AGENTES OXIDANTES

O conceito de oxidação surgiu com a necessidade de se descrever as modificações que ocorrem em reações de oxido-redução. Em reações de oxidação ocorre perda de elétrons provocando a oxidação de espécies químicas, enquanto nas reações de redução existe um ganho de elétrons (MASTERTON, 2015).

Agentes oxidantes são utilizados em processos de lavanderia, sendo este comumente conhecido como alvejamento. É eficaz na desinfecção e remoção de certas manchas (LACERDA *et al.*, 2010). A oxidação de moléculas orgânicas, como corantes e gorduras, que se aderem aos substratos têxteis, proporciona o clareamento de tecidos e a retirada de algumas manchas. Portanto, alvejar um tecido consiste em oxidá-lo, isto é, promover a perda de elétrons, sendo esta a ação dos agentes oxidantes. Os dois compostos químicos oxidantes muito utilizados na lavagem de artigos têxteis são o hipoclorito de sódio (LIMA *et al.*, 2018), seguido pelo peróxido de hidrogênio (FOGAÇA, 2018).

## 2.6 MANCHAS EM TECIDOS

De acordo com o dicionário, mancha é um espaço ou sinal que uma substância de cor diferente num conjunto de cor uniforme faz num corpo sujando-o; mácula, nódoa (DICIO, 2019).

Os relatos de manchas mais frequentes consistem nas de alimentos e bebidas. As manchas que ocorrem e são de difícil remoção incluem gorduras, ceras, hidrocarbonetos, proteínas e certos corantes naturais. A remoção de manchas de uma superfície têxtil pode ser feita por meio de reações químicas. Por exemplo, uma mancha ocasionada por corantes naturais de chá, vinho e suco de frutas pode ser facilmente removida com a ação de algum oxidante (SMULDERS, 2002).

### 2.6.1 A classificação das manchas

A classificação ocorre conforme o processo de remoção, sendo manchas superficiais e impregnadas.

### 2.6.1.1 Manchas superficiais

Possuem uma fraca interação física com a superfície de fibras ou outros materiais existentes na superfície do substrato têxtil, sendo de fácil remoção por meios ou técnicas de limpeza superficial, como por exemplo, por meio da escovação ou aspiração (CASTRO, 2015).

### 2.6.1.2 Manchas impregnadas

São classificadas como manchas que mesmo após o procedimento de limpeza superficial permanecem aderidos à superfície do substrato têxtil. Algumas manchas podem ser removidas por técnicas de limpeza como lavagem no meio úmido ou a seco, além de outros métodos de remoção, incluindo os tratamentos químicos. Entretanto, existem algumas manchas impregnadas que são permanentes, não havendo métodos eficazes de remoção (BALÁZSY; EASTOP, 2012).

## 2.6.2 Forças de adesão entre as sujidades e os têxteis

O principal objetivo na remoção de qualquer mancha ou sujeira dos artigos têxteis, durante o processo de lavagem a úmido ou a seco, envolve o desprendimento das substâncias indesejáveis na estrutura das fibras sem sua redeposição no substrato têxtil.

Nos substratos têxteis as manchas são mantidas por interações físicas secundárias que promovem a adesão entre sujeira e moléculas das fibras. Para remover a mancha do substrato, essas forças de adesão precisam diminuir no decorrer da limpeza (BALÁZSY, EASTOP, 2012).

A adesão entre a sujeira e as fibras é determinada por fatores como: polaridade, condições ambientais, tempo de permanência, morfologia da fibra, estrutura e coesão dos fios e fibras.

O que determina as interações com grupos funcionais sobre a superfície das fibras, por interações físicas secundárias, é a polaridade das moléculas de sujeira. Fibras celulósicas contêm os grupos funcionais hidroxila, o que promove uma ligação molecular mais forte à sujeira (CASTRO, 2015).

As condições ambientais de onde acontece o contato entre sujeira e tecido tem influência na força de interação física secundária, por exemplo, em meio ácido ou alcalino. A morfologia das fibras pode potencializar a permanência da sujeira, tendo como exemplo, as fibras de algodão como as de lã, pois apresentam escamas e torção,

respectivamente, contribuindo com o aumento de zonas para depósito da sujeira. O que não acontece nos filamentos que são completamente lisos, como a seda. Outro potencializador da mancha é o tempo em que a sujeira permanece no tecido. Por exemplo, os óleos e gorduras tendem a se difundir mais entre as fibras com o passar do tempo e começam as interações físicas cruzadas (CASTRO, 2015).

Conforme é a estrutura dos fios e das fibras a sujeira pode penetrar profundamente entre as fibras não fiadas, fios fiados ou tecidos com estruturas mais abertas. Alguns acabamentos pode inibir a sujeira, pois estes cobrem essas zonas onde a sujeira poderia se armazenar, ou até produzir características específicas como hidrofobicidade. Pelo fato da sujeira ser mantida no artigo têxtil por interações físicas secundárias, os fatores mais importantes a serem levados em consideração são sua polaridade e a solubilidade da sujeira (CASTRO, 2015).

### **2.6.3 Mancha de Molho de Tomate**

Tanto os tomates como seus derivados são caracterizados por terem abundantes compostos relacionados à boa saúde alimentar. Estes são boas fontes de carotenóides (em particular, o licopeno), ácido ascórbico (vitamina C), vitamina E, ácido fólico, flavonóides e potássio (SOUZA *et al.*, 2008).

Dentre os carotenoides destaca-se o licopeno, sendo este o pigmento responsável pela coloração do fruto e produtos derivados (ROSA *et al.*, 2011). A concentração de licopeno nas frutas e vegetais varia com uma serie de fatores como: estação do ano, efeito climático e geográfico, local de plantio, estágio de maturação, manejo pós-colheita e armazenamento. De modo geral, a concentração de licopeno será maior conforme mais avermelhado for o alimento (FERREIRA, 2004).

Tomates com uma boa coloração apresentam concentração de licopeno na faixa de 5 a 8 mg/100 g de polpa (ROSA *et al.*, 2011).

Segundo a legislação da ANVISA Resolução RDC nº 276, de 22 de setembro de 2005, “os molhos são definidos como um condimento feito à base de tomate e, às vezes, acrescido de presunto, cebola, manjeriçom, sal, óleo, alho e vários outros condimentos para conferir sabor”. Os tomates são descascados, retiradas às sementes, picados e misturados aos condimentos fritos. Esta mistura é então fervida, obtendo-se um líquido viscoso pronto para o consumo. Desta forma, surgem os inúmeros molhos com diversas consistências e sabores, além de oferecer ao consumidor maior praticidade (AMANTE, 2003).

Os molhos de tomate encontrados no comércio brasileiro são: peneirado, tradicional, concentrado, prontos com carne e prontos com cogumelos (ANDRADE, 2004). A partir desta classificação pode ser mostrada a diversidade de tipos de molhos comercializados com diferentes constituintes (MONTEIRO, 2008).

Toda essa gama de molhos participa de uma série de receitas e pratos, o que aumenta a probabilidade de acidentes com derramamento sobre roupas durante o preparo dos alimentos ou no momento de seu consumo.



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo será apresentada a descrição dos procedimentos experimentais utilizados nos processos de obtenção da mancha no tecido, na preparação do tensoativo e nos processos de lavagem incluindo os reagentes e equipamentos utilizados. Estes experimentos foram realizados no Departamento de Engenharia Têxtil da Universidade Federal de Santa Catarina, no Laboratório de Cuidados Têxteis (LABCT), Laboratório de Beneficiamento Têxtil (LABENE) e no Laboratório de Meio Ambiente (LABMAM). As análises de Texturometria e FTIR foram realizadas no Laboratório de Controle de Processos e Polimerização (LCP) do Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus Florianópolis.

#### 3.1 MATERIAIS

##### 3.1.1 Substrato Têxtil

Foram utilizados tecidos 100% algodão estrutura tela. As amostras de tecidos utilizados como corpos de prova nos ensaios foram provenientes de um único lote, garantindo a padronização dos corpos de prova, quanto ao tipo de fio, gramatura, cor e hidrofiliabilidade.

##### 3.1.2 Molho de tomate

Para a realização da mancha de tomate no substrato têxtil foi utilizado molho comercial Molho de Tomate à Bolonhesa POMAROLA Receitas Sachê pronto receitas bolonhesa, pois entende-se ser um molho bastante consumido. Provenientes de um único lote, garantindo a padronização dos corpos de prova.

A composição do produto é descrita conforme fabricante. Ingredientes: Tomate, cebola, proteína texturizada de soja, açúcar, carne moída, sal, amido, óleo vegetal, salsa, louro, pimenta preta, acidulante ácido lático e cítrico, aromatizantes (aroma idêntico ao natural de carne). Contém glúten. Contém traços de ovos. Informação Adicional: Molho de tomate com carne.

### 3.1.3 Enzimas

Foi utilizada uma protease, classificada como Serine endopeptidase (E.C. 3.4.21.62) de nome comercial Savinase® 16 L, uma lipase (E.C. 3.1.1.3) de nome comercial Lipozyme® TL 100 L e uma  $\alpha$ -amilase, classificada como endo-amilase (E.C. 3.2.1.1) de nome comercial BAN® 480 L, todas produzidas e doadas pela Novozymes.

Na Tabela 2 apresenta-se as características das enzimas utilizadas no trabalho. O tempo de reação enzimática recomendado pelo fabricante é de 30 a 60 min.

Tabela 2 – Dados das enzimas utilizadas

Enzima	Amilase	Lipase	Protease
Origem / Fonte	<i>Bacillus amylolique faciens</i>	<i>Aspergillus oryzae</i>	<i>Bacillus licheniformis</i>
pH ótimo	5 – 7	7 – 10	8 – 10
Temperatura ótima (°C)	55 – 75	20 – 50	30 – 70

Fonte: Adaptado Novozymes (2016).

### 3.1.4 Tensoativos

Os tensoativos utilizados foram Aromox® (Alquil dimetil amina óxida) (Akzo Nobel Ltda), Berol 175 (Akzo Nobel Ltda), Ácido Sulfônico 90% (Macler Produtos Químicos LTDA), todos doados pela empresa Macler Produtos Químicos LTDA.

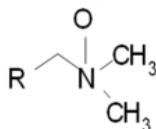
#### 3.1.4.1 Aromox®

Aromox® é a linha de amina óxida da AkzoNobel. Trata-se de Óxido de alquil (C12/C14) dimetilamina. Por não possuir carga em pH neutro e alcalino é classificada como tensoativo não iônico. Sua estrutura molecular é apresentada na Figura 5.

As aminas óxidas podem ter a função de tensoativo principal ou secundário, tendo sinergia com outros tensoativos melhorando ação de detergência. Podem atuar como agentes espessantes de soluções

tensoativas, formadoras e estabilizantes de espuma, além disso, podem melhorar a resistência à oxidação e apresentar excelente capacidade de emulsionar fragrâncias.

Figura 5 – Estrutura molecular do tensoativo Aromox®.



Fonte: Akzo Nobel (2013).

#### 3.1.4.2 Berol 175

Seu nome químico é C12-16 Álcool etoxilado. É um tensoativo não iônico à base de álcool primário natural. Tem caráter hidrofílico (solúvel em água). Tem como principais características: agente dispersante, umectante e emulsificante.

#### 3.1.4.3 Ácido Sulfônico

Ácido Sulfônico 90% (preparado a partir de Ácido Dodecil Benzeno Sulfônico Linear (88 – 92%)) é um tensoativo aniônico amplamente utilizado no segmento de produtos de limpeza sendo comumente o principal ingrediente ativo das formulações, pois é muito efetivo na diminuição da tensão superficial, promovendo a molhabilidade da superfície e emulsificação da sujeira, possuindo alto poder espumante. O Ácido Sulfônico é geralmente utilizado neutralizado com hidróxido de sódio e/ou trietanolamina. O Ácido Sulfônico 90% comercializado pela Macler Produtos Químicos Ltda já apresenta como característica uma alta solubilidade.

### 3.1.5 Oxidantes

Foram analisados três compostos oxidantes para a promoção da descoloração da cor da mancha proveniente do molho de tomate. Foram utilizados os seguintes compostos: persulfato de potássio (grau analítico), hipoclorito de sódio (produto doméstico com ~ 2 % de cloro ativo) e bicarbonato de sódio (produto comercial de grau alimentício).

### 3.1.6 Detergentes comerciais

Os detergentes comerciais utilizados possuem características específicas, principalmente devido a sua composição. A composição de cada detergente comercial é descrita a seguir.

#### 3.1.6.1 Detergente comercial F

Trata-se de um detergente comercial líquido. Conforme fabricante é composto pela combinação dos tensoativos aniônicos lauril éter sulfato de sódio e ácido linear alquilbenzeno sulfônico, além de neutralizante, emulsificante, sequestrante, branqueador óptico, glicerina, espessantes, conservantes, corantes fragrância e água.

#### 3.1.6.2 Detergente comercial G

Detergente comercial líquido. Composição de linear aquil benzeno sulfonado de sódio, aquil éter sulfato de sódio, ajustador de pH, ajustadores de viscosidade, coadjuvantes, tamponante, corantes, enzimas, branqueador óptico, fragrância, agente anti redepositante, 1,2 – Benzotiazolin-3-ona, 2-metil-4-isotiazolin-3-ona e água.

#### 3.1.6.3 Detergente comercial H

É um detergente comercial na forma líquida. Na composição conta com alquil sulfato de sódio etoxilado, linear alquil benzenosulfato de sódio, álcool etoxilado tensoativo não-iônico, estabilizantes, coadjuvante, quelante, enzimas, conservante, corante, fragrância e água.

#### 3.1.6.4 Detergente comercial I

Trata-se de um detergente em pó. Sua composição consiste em tensoativo aniônico (Dodecil Benzeno Sulfonato de Sódio), coadjuvantes, sinergistas, branqueadores ópticos, enzimas, corante, fragrância e água.

#### 3.1.6.5 Detergente comercial J

É um detergente em pó. Tem como composição percarbonato de sódio, álcool graxo etoxilado, alquil benzeno sulfonato de sódio, enzimas, hidrótopo, branqueador óptico e veículos.

### **3.1.7 Equipamentos**

Foram utilizados pHmetro modelo PHS-3E, marca Even, para medir o pH; a balança analítica modelo ATX, marca Shimadzu, para pesar os reagentes; máquina de tingimento de laboratório IR Dyer modelo TC-2200, marca Texcontrol, para os ensaios de lavagem; espectrofotômetro modelo AJX-1900, marca Micronal, para os ensaios de atividade enzimática; centrífuga modelo LM-DM-0412, marca LAB1000, para os ensaios de atividade enzimática; espectrofotômetro modelo 500, marca Datacolor, para as propriedades colorimétricas.

## **3.2 MÉTODOS**

As metodologias utilizadas para a realização deste trabalho estão apresentadas neste item.

### **3.2.1 Caracterização do tecido**

Os tecidos foram talhados e chuleados para uniformizar o tamanho das amostras em 14x14 cm.

O ligamento do tecido foi determinado pela norma ABNT NBR 12546, que determina a forma de entrelaçamento dos fios de urdume e trama. Os básicos são: tela, sarja e cetim.

A gramatura foi determinada pela norma ABNT NBR 10591, que define a relação de massa por unidade de área. É expressa em gramas por metro quadrado.

### **3.2.2 Caracterização do molho**

O molho foi caracterizado em relação à sua viscosidade cinemática e foram consideradas as composições em termos de ingredientes declaradas pelo fabricante.

O teste de viscosidade do molho foi determinada por meio de viscosímetro Copo Ford, verificado com o intuito de identificar e quantificar propriedades reológicas que se relacionam com os atributos do produto.

Para o teste de determinação de viscosidade foi necessário realizar uma peneiragem para remoção de sólidos.

### 3.2.3 Procedimento de produção de mancha

Para garantir uma maior uniformidade entre as amostras, a mancha foi produzida submergindo o tecido de amostra no molho de tomate (Figura 6) e, em seguida, as amostras foram submetidas uma a uma a um processo de compressão por rolos com pressão constante (Figura 7).

Figura 6 – Impregnação de molho sabor bolonhesa em tecido 100% algodão



Fonte: Autor (2019).

Figura 7 – Processo de uniformização da mancha



Fonte: Autor (2019).

A uniformidade da mancha é caracterizada através da quantidade de molho absorvida pelo substrato em função da pressão exercida pelos cilindros. Assim, tem-se o percentual de retenção do molho pelo substrato, denominada pick up. O pick up úmido, calculado com a

amostra logo após de passar pelo processo de compressão por rolos é calculada conforme Equação 1.

$$Pick\ up = \frac{P_u - P_i}{P_i} \quad (1)$$

Onde,

$P_u$  = Peso úmido

$P_i$  = Peso inicial

Em seguida as amostras foram secas na estufa em temperatura de 40°C por 15 minutos (Figura 8).

Figura 8 – Secagem das amostras



Fonte: Autor (2019).

Após as amostras secas, o índice de retenção também é calculado de acordo com a Equação 2, obtendo o percentual de retenção pelo substrato.

$$Pick\ up = \frac{P_f - P_i}{P_i} \quad (2)$$

Onde,

$P_f$  = Peso final

$P_i$  = Peso inicial

Após secas, as amostras foram isoladas por um filme polimérico (Figura 9) e mantidas sob-refrigeração de  $-18^{\circ}\text{C}$  para conservação das propriedades e evitar a degradação e contaminação até a lavagem.

Figura 9 – Conservação das amostras



Fonte: Autor (2019).

### 3.2.4 Lavagem

Os ensaios de lavagem foram realizados na máquina de tingimento em canecos Texcontrol® IR Dyer, adaptados da norma ABNT NBR ISO 105-C06, utilizando 10 esferas de aço inoxidável de 6 mm, por 30 min a  $40^{\circ}\text{C}$ .

Foram realizados testes de lavagem com três tensoativos: Aromox®, Ácido Sulfônico e Berol 175. Com cada tensoativo foram introduzidas às enzimas Amilase, Lipase e Protease segundo planejamento experimental.

Os tratamentos seguiram um planejamento fatorial  $2^3$  completo para os três tensoativos utilizados. O ponto central (C) foi feito em triplicata. A matriz experimental está apresentada na Tabela 3. Os fatores foram avaliados nos níveis mínimo (-1) e máximo (1), totalizando 11 ensaios realizados em duplicata. Para as três enzimas, os níveis -1, 0 e +1 representam as quantidades de solução de enzima adicionadas ao meio de lavagem, sendo respectivamente 0, 0,15 e 0,3

mL, partindo de uma solução enzimática diluída 50 x (vezes) em tampão fosfato pH 7,5.

Tabela 3 – Matriz do planejamento experimental fatorial 2<sup>3</sup> completo

Tratamento	Enzimas		
	Amilase	Protease	Lipase
1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1
3	-1	+1	-1
4	+1	+1	-1
5	-1	-1	+1
6	+1	-1	+1
7	-1	+1	+1
8	+1	+1	+1
9 (C)	0	0	0
10 (C)	0	0	0
11 (C)	0	0	0

Fonte: Autor (2019).

Este planejamento foi igualmente utilizado para os três tensoativos utilizados, sendo denominados nos tratamentos como: Aromox® (A), Ácido Sulfônico (B) e Berol 175 (C) respectivamente.

### 3.2.5 Solução detergente

A protease nos detergentes em pó, na ausência da água, estando encapsuladas e na forma granulada são estáveis. Já em ambientes aquosos, como nos detergentes líquidos é necessário garantir sua atividade. Com o objetivo de manter a estabilidade e evitar a autodigestão das próprias proteases, evitando até a degradação de outras enzimas contidas na formulação utilizam-se inibidores no banho de lavagem. Desta forma os inibidores utilizados foram polipropilenoglicol juntamente com o ácido bórico. Funcionando como inibidores reversíveis, interagindo com grupos de sítios ativos das proteínas. Esses inibidores foram diluídos no banho de lavagem, e a atividade das enzimas deve ser estabilizada (OLSEN e FALHOLT, 1998).

Ao referir-se a tal assunto Lund *et al.* (2012b), utilizam na solução 1,5% (p / p) de ácido bórico e 2% (p / p) de polipropilenoglicol como inibidores reversíveis da protease. Desta forma o preparo do detergente foi conforme Tabela 4 com cada caneco contendo volume de 100 mL de solução aquosa.

Tabela 4 – Composição de detergente por caneco

Item	Quantidade
Tensoativo	0,2%
Ac. Bórico	1,5%
Polipropilenoglicol	2,0%

Fonte: Autor (2019).

### 3.2.6 Lavagens com oxidantes

Os três potenciais oxidantes analisados para a remoção da mancha proveniente do molho de tomate foram persulfato de potássio, hipoclorito e bicarbonato conforme exemplificados na tabela 5. Foram utilizados em todos os experimentos a solução de detergente da tabela 4 com o tensoativo Berol 175 e a mesma concentração das três enzimas de 0,3 mL/cada por caneco.

Tabela 5 – Matriz experimental dos tratamentos com agentes oxidantes

Tratamento	Persulfato de potássio (%)	Hipoclorito (%)	Bicarbonato (%)
1	1	0	0
2	5	0	0
3	0	1	0
4	0	5	0
5	0	0	1
6	0	0	5

Fonte: Autor (2019).

### 3.2.7 Ensaios com detergentes comerciais

Como método de comparação e análise, foram conduzidas lavagens em duplicata de amostras manchadas com molho de tomate

com detergentes comerciais. Foram utilizados cinco produtos de diferentes marcas comerciais, este procedimento ocorreu conforme a Tabela 6.

Tabela 6 – Lavagem com diferentes detergentes comerciais

Tratamentos	Natureza	Concentração (%)
Detergente Comercial F	Líquido	2
Detergente Comercial G	Líquido	2
Detergente Comercial H	Líquido	2
Detergente Comercial I	Pó	2,5
Detergente Comercial J	Pó	2,5

Fonte: Autor (2019).

### 3.2.8 Medição de cor

As medições de cor de todas as amostras manchadas foram realizadas antes e depois da lavagem por espectrofotometria de reflectância (DATACOLOR 500) considerando um observador a 10° sob padrão de iluminação CIE D65, que imita as condições de luz solar (SCHANDA, 2007). As medidas de cor foram realizadas por meio da média da leitura de três pontos de cada amostra.

As análises de espectrofotometria foram realizadas para avaliar a remoção das sujidades, considerando como parâmetro da detergência a alteração da cor da mancha.

É possível definir as diferenças de cor pela comparação numérica entre um padrão com a amostra. Essa diferença indica as diferenças absolutas nas coordenadas de cor entre a amostra e o padrão e são conhecidas como Deltas ( $\Delta$ ). Os Deltas para  $L^*$  ( $\Delta L^*$ ) Equação 3,  $a^*$  ( $\Delta a^*$ ) Equação 4 e  $b^*$  ( $\Delta b^*$ ) Equação 5 podem ser negativas (-) ou positivas (+). A diferença total, Delta E ( $\Delta E$ ) Equação 6, todavia, é sempre positiva (KONICA MINOLTA, 2018). São expressas da seguinte forma:

$$\Delta L^* = L^*_{amostra} - L^*_{padrão} \quad (3)$$

$$\Delta a^* = a^*_{amostra} - a^*_{padrão} \quad (4)$$

$$\Delta b^* = b^*_{amostra} - b^*_{padrão} \quad (5)$$

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (6)$$

O  $\Delta E$  é frequentemente usado para julgar a precisão de uma cor. Para valores de  $\Delta E$  menores que 1 considera-se que não existe diferença perceptível ao comparar as duas cores lado a lado por especialistas. Para valores de  $\Delta E$  até 3 não existe uma diferença significativa, sendo um valor limite para a percepção visual humana (BENQ, 2019).

### 3.2.9 Determinação da atividade enzimática

Como o meio de lavagem, foram determinadas as atividades enzimáticas para constatar a viabilidade catalítica da enzima no processo de lavagem em presença de tensoativos e agentes oxidantes.

#### 3.2.9.1 Determinação da atividade da $\alpha$ -amilase

A atividade da  $\alpha$ -amilase foi determinada pelo incremento dos açúcares redutores na solução como resultado da ação da  $\alpha$ -amilase sobre amido. A atividade foi determinada pela quantificação de açúcares redutores (glicose) utilizando do método de Miller (1959). Uma mistura contendo 300  $\mu\text{L}$  tampão Tris-HCl 0,05 M pH 7,5; 200  $\mu\text{L}$  de uma solução de amido 1,0 % (p/v) em tampão Tris-HCl 0,05M pH 7,5 e 100  $\mu\text{L}$  da solução de enzimas. A mistura foi incubada a 40°C por 30 minutos. Após este período foi adicionado 1,0 mL do reagente de Miller (ácido 3,5- dinitrossalicílico) à reação. A mistura foi colocada em água em ebulição por 10 min, em seguida, resfriados em banho de gelo por 5 minutos e adicionados 5 mL de água destilada. A coloração desenvolvida foi medida através de espectrofotômetro Micronal AJX-1900, utilizando comprimento de onda de 540 nm. Para o cálculo da atividade da amilase foi utilizada a Equação 7.

$$\textit{Atividade amilase} = \frac{C \times V_t \times DE}{t \times V_E} \left[ \frac{U}{mL} \right] \quad (7)$$

Onde: C é a concentração de açúcar redutor [mol/mL];  $V_t$  é o volume total da solução [mL], DE é a diluição da solução enzimática; t é o tempo de reação [min], e  $V_E$  é o volume da solução de enzima [mL].

O mesmo procedimento foi realizado com o controle, exceto que o reagente de Miller (ácido 3,5- dinitrossalísílico) foi adicionado juntamente com a enzima à solução de amido 0,5% e, esta mistura foi colocada em água em ebulição como descrito anteriormente.

A concentração de açúcares redutores foi determinado por meio de uma curva de calibração de glicose. e a atividade da enzima foi definida como: uma unidade da atividade da enzima (U) é a quantidade de enzima necessária para produzir 1  $\mu\text{mol}$  de açúcar redutor por minuto por mL a partir do amido solúvel nas condições do ensaio.

### 3.2.9.2 Determinação da atividade da protease

A atividade da protease foi determinada em triplicata pela quantificação de peptídeos solúveis em ácido trifluoroacético (TFA) 10 % adaptada segundo a resolução normativa – RDC N° 55, de 14 de novembro de 2012 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). O substrato utilizado para essa determinação foi uma solução de azocaseína 1,25 % (p/v) preparada em tampão Tris/HCl 0,2 M pH 7,5. Nesta análise, 120  $\mu\text{L}$  do solução enzimática foi colocado em 480  $\mu\text{L}$  de substrato e incubado em temperatura de 40 °C por 15 minutos. A reação foi paralisada pela adição de 600  $\mu\text{L}$  de TFA, seguido de banho de gelo. Em seguida foi centrifugada (LAB1000 modelo LM-DM-0412) a 4.500 rpm por 15 min. Foram retirados 800  $\mu\text{L}$  do sobrenadante e adicionado em um tubo contendo 100  $\mu\text{L}$  de NaOH (1,8 N). Paralelamente, foi feito o branco, que ao invés de ter a enzima tinha tampão (método modificado de Janssen *et al.*, 1994).

A coloração desenvolvida foi medida através de espectrofotômetro (Micronal AJX-1900), utilizando comprimento de onda de 420 nm. Uma unidade da enzima foi definida como a quantidade de enzima necessária para produzir uma variação de uma unidade de Densidade Óptica (DO) em uma cubeta de 1 cm de caminho óptico por mL de amostra por minuto, sob condições padrões descritas anteriormente. Para o cálculo da atividade de protease foi utilizada a Equação 8.

$$\text{Atividade da protease} = \frac{(ABS_{AM} - ABS_{BR}) \times 10 \times fd \left[ \frac{U}{min} \right]}{t} \quad (8)$$

Onde: ABS são as absorbâncias lidas da amostra (AM) e do branco (BR), fd é o fator de diluição da amostra, t é o tempo de reação (15 min).

### 3.2.9.3 Determinação da atividade da lipase

A determinação da atividade da lipase se deu por meio do uso de butirato de p-nitrofenil - p-NPB (10 mM em isopropanol) como substrato. A reação ocorreu diretamente na cubeta do espectrofotômetro, onde foi adicionado 1880  $\mu\text{L}$  de solução tampão Tris-HCl (20 mM) pH de 7, 20  $\mu\text{L}$  da solução de p-NPB e iniciando-se a reação com a adição de 100  $\mu\text{L}$  da solução de enzimas. A quantificação da cor gerada pela hidrólise do substrato foi lida em espectrofotômetro em comprimento de onda de 410 nm, em temperatura ambiente. O coeficiente de extinção molar para essas condições é de  $\varepsilon = 12,442$ . Uma Unidade de atividade (U) é definida como a quantidade de enzima que hidrolisa 1  $\mu\text{mol}$  de p-NPB, por minuto, sob condições controladas. Para o cálculo foi utilizada a Equação 9.

$$C = \frac{\Delta E}{\varepsilon_{pH=7,5}d} = \frac{\Delta E}{12,442.1} \left[ \frac{\text{mmol.cm}}{\text{L.cm}} \right] \quad (9)$$

Onde, C é a atividade,  $\Delta E$  a diferença entre a absorbância no tempo zero e a absorbância no tempo 1 minuto (tempo de reação),  $\varepsilon$  é o coeficiente de extinção molar nas condições de ensaio e o comprimento do caminho óptico da cubeta.

### 3.2.10 Análise estatística

A análise estatística foi conduzida no software Statistica por meio de análise de variância, considerando nível de significância de 10 %.

### 3.2.11 Ensaio Mecânico

Os ensaios de tração do tecido foram realizados por ruptura no equipamento texturômetro (Stable Micro Systems, modelo TA.HD.plus Texture Analyser) na Central de Análises do Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da UFSC.

### **3.2.12 Espectroscopia no infravermelho com transformada de fourier (FTIR)**

O procedimento foi realizado visando conhecer cadeias químicas e estruturas moleculares de compostos orgânicos presentes nos tecidos manchados e depois de lavados. As análises foram realizadas no Laboratório de Controle de Processos e Polimerização (LCP) do Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da UFSC. O equipamento utilizado foi da marca AGILENT Technologies série cary 600. Os espectros foram analisados no modo ATR, na faixa entre 650 a 4000  $\text{cm}^{-1}$ , com resolução espectral de 4,0  $\text{cm}^{-1}$  e média de 36 varreduras.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DO TECIDO

A amostra utilizada foi um tecido plano de estrutura tela com 42 fios/cm no urdume e 28 fios/cm de trama e gramatura de 104,72 g/m<sup>2</sup>. Cada amostra possuía tamanho médio de 180 cm<sup>2</sup>, todas chuleadas.

### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DO MOLHO DE TOMATE

O valor da viscosidade foi de 158,31 mm<sup>2</sup>/s. O aspecto visual do molho da marca utilizada possuía coloração característica de molho de tomate, contendo particulados sólidos com aspecto de carne moída. Na embalagem, onde está descrito os ingredientes, consta a existência de carne moída justificando a aparência observada. Os demais ingredientes enumerados não foram detectados visualmente, dando uma aparência não homogênea. Na embalagem constam os seguintes ingredientes: tomate, cebola, proteína texturizada de soja, açúcar, carne moída, sal, amido, óleo vegetal, salsa, louro, pimenta preta, acidulante ácido láctico e cítrico, aromatizantes (aroma idêntico ao natural de carne). Segundo RDC N° 259, de 20 de setembro de 2012 (ANVISA), que dispõe sobre rotulagem de alimento, os ingredientes devem constar em ordem decrescente, da respectiva proporção. Assim conclui-se que a maior proporção do conteúdo do molho é de tomate, principal componente de formação de cor no molho e, conseqüentemente, da mancha.

### 4.3 TECIDOS MANCHADOS

A mancha produzida com o molho de tomate, sabor bolonhesa não se apresentou com uma boa uniformidade, isso se deve ao fato da característica do próprio molho que inclui ingredientes particulados como temperos, proteína texturizada de soja e carne moída.

Após passar os tecidos embebidos no molho pelos cilindros, houve uma espécie de esmagamento das partículas maiores formando manchas de coloração não homogêneas, conforme Figura 10.

A temperatura de 40 °C utilizada na secagem das amostras não afetou a coloração das manchas segundo observação visual.

Figura 10 – Aspecto do tecido após manchamento



Fonte: Autor (2019).

A massa de molho impregnada no tecido foi estabelecida com o índice de retenção feita por amostragem em 11 amostras. A média de material retido ficou em 117% de pick-up médio das amostras depois de manchadas (úmida) e pick-up médio de 18%, das amostras secas. Os valores estabelecidos nos ensaios estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Determinação da massa seca das amostras de tecido, manchados com molho de tomate sabores bolonhesa.

Tratamento	P <sub>i</sub> (g)	P <sub>u</sub> (g)	P <sub>f</sub> (g)	Pick-up úmido (%)	Pick-up seco (%)
1	2,23	5,17	2,73	131,84	22,42
2	2,22	4,91	2,73	121,17	22,97
3	2,07	5,09	2,42	145,89	16,91
4	2,17	4,95	2,57	128,11	18,43
5	2,2	4,95	2,6	125,00	18,18
6	2,33	5,15	2,8	121,03	20,17
7	2,38	4,95	2,52	107,98	5,88
8	2,31	4,35	2,66	88,31	15,15
9	2,2	4,63	2,6	110,45	18,18
10	2,17	4,73	2,73	117,97	25,81
11	2,32	4,35	2,63	87,50	13,36
Média	2,24	4,84	2,64	116,84 ± 17,6*	17,95 ± 6,02*

Fonte: Autor (2019).

\* valores de desvio padrão.

Os desvios padrão tanto das massas secas como úmidas demonstram uma variação expressiva da quantidade de molho retido nas amostras individuais. Essa variação, juntamente com os aspectos visuais observados, são atribuídas a não homogeneidade do próprio molho o que dificulta a reprodutibilidade das características das manchas propostas neste trabalho.

## 4.4 ENSAIOS DE LAVAGEM

### 4.4.1 Ensaio com enzimas

Neste item estão apresentados e discutidos os resultados das lavagens com composição detergentes dos três tensoativos em combinação com as enzimas amilase, protease e lipase seguindo um planejamento experimental do tipo  $2^3$ . São apresentados também os ensaios realizados contendo agentes oxidantes e os ensaios realizados com detergente comercial.

Conforme descrito no capítulo de Materiais e Métodos, foi utilizado um planejamento experimental fatorial do tipo  $2^3$  para os três tensoativos utilizados com a análise de variância ANOVA feita individualmente para cada tensoativo. Os resultados dos efeitos de cada enzima na remoção da mancha de molho de tomate estão apresentados por meio de gráfico de pareto e a variação de  $\Delta E$  nos gráficos de apresentam os respectivos valores para cada nível de quantidade de enzima utilizada nos ensaios de lavagens.

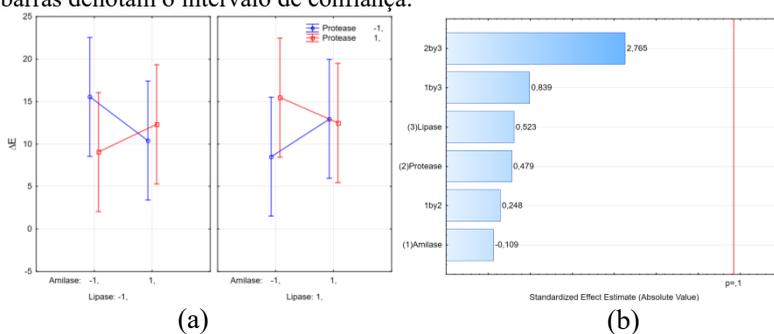
De forma geral a remoção da mancha com as misturas dos três tensoativos com as enzimas não foi satisfatória, tendo o tecido de algodão se mantido manchado com pouca redução de cor, numa constatação visual (olho nú). Todos os ensaios tiveram uma variância muito grande, sendo constatado por meio do intervalo de confiança apresentados nos gráficos de  $\Delta E$ . Essa variância se deve à sensibilidade do método de análise espectrofotométrica de refletância em relação à baixa homogeneidade da mancha no tecido. Uma forma de melhorar esse resultado seria aumentar o número de leituras para permitir um cálculo de média com maior número de pontos.

Independentemente do efeito das enzimas, os tensoativos utilizados não foram capazes de remover a mancha, apesar de terem se apresentado com uma coloração mais homogênea (APÊNDICE A). Os tensoativos podem ter removido a “sujeira”, mas não a cor.

Os ensaios realizados somente com água, para efeito de comparação, apresentaram  $\Delta E$  na ordem de 16, demonstrando que o material que foi removido do tecido manchado se tratou de compostos solúveis em água e que não tinham nenhuma ligação forte com a fibra. Na descrição dos ingredientes consta a presença de óleo vegetal e a quantidade de gorduras insaturadas é de 0,6 g/60 g de produto. Essa quantidade é bastante reduzida e deve fazer parte da fração não removida, nem pela água nem pelo detergente. A temperatura de 40 °C também é um fator que colaborou pouco para a remoção de sujidades mais difíceis de remoção, sendo essa considerada mediana.

Observando-se a Figura 11, com os resultados do tensoativo Aromox®, verifica-se que as três enzimas não tiveram efeitos significativos ( $p > 0,1$ ) na remoção de manchas de molho de tomate. Depois de terem sido realizados os ensaios de atividade das enzimas (item 4.3.1), verificou-se que essa resposta do planejamento pode estar associada à perda da atividade das enzimas pelo contato com o tensoativo ou com aditivos do meio de lavagem.

Figura 11 – Apresentação dos efeitos da remoção de mancha de molho de tomate com enzimas amilase, protease e lipase em solução de lavagem de Aromox. (a) Gráfico de Pareto para análise de ANOVA com 10 % de significância, com os valores depois das barras sendo os efeitos de cada fator ensaiado; (b) Gráfico de  $\Delta E$  em função dos níveis das enzimas ensaiadas. As barras denotam o intervalo de confiança.



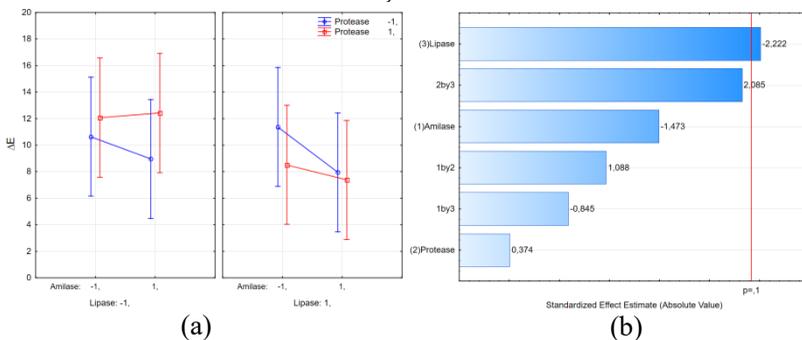
Fonte: Autor (2019).

Com o tensoativo ácido sulfônico houve uma resposta em que o efeito da lipase foi significativo, porém negativo (Figura 12b). O sinal negativo da lipase informa que a sua presença no meio de lavagem desfavorece a remoção da cor do tecido. Entretanto, as lavagens com esse tensoativo demonstram-se ter o pior efeito no que tange a variação

do  $\Delta E$  medido, o que pode sugerir que dado às proximidades dos valores lidos, juntamente com a eficiência da remoção da mancha, não há dados suficientes para uma observação clara dos resultados. O tensoativo ácido sulfônico é o único tensoativo aniônico testado e, sendo esse o que deu pior resultado, há um indicativo que numa formulação detergente deve-se ter associação de aniônicos e não iônico para melhores resultados de detergência.

Para o tensoativo ácido sulfônico os principais efeitos do fator (lipase) são estatisticamente significativos ( $p < 0,1$ ). A interação de segunda ordem entre protease e lipase, também são importantes. O gráfico de Pareto (Figura 12a) possibilita visualizar com precisão esses efeitos, demonstrando que a lipase é a mais relevante.

Figura 12 – Apresentação dos efeitos da remoção de mancha de molho de tomate com enzimas amilase, protease e lipase em solução de lavagem de ácido sulfônico. (a) Gráfico de Pareto para análise de ANOVA com 10 % de significância, com os valores depois das barras sendo os efeitos de cada fator ensaiado; (b) Gráfico de  $\Delta E$  em função dos níveis das enzimas ensaiadas. As barras denotam o intervalo de confiança.

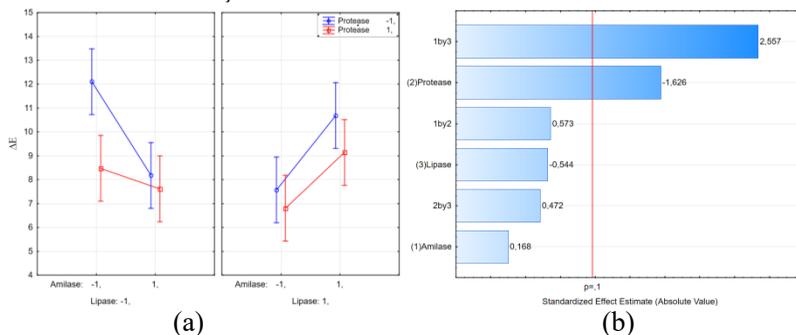


Fonte: Autor (2019).

Para o tensoativo Berol 175 os principais efeitos do fator protease e os efeitos de interação de segunda ordem entre amilase e lipase são estatisticamente significativos ( $p < 0,1$ ), também são importantes ( $p < 0,1$ ). O gráfico de Pareto (Figura 13) possibilita visualizar os valores desses efeitos.

Figura 13 – Apresentação dos efeitos da remoção de mancha de molho de tomate com enzimas amilase, protease e lipase em solução de lavagem de Berol

175. (a) gráfico de pareto para análise de ANOVA com 10 % de significância, com os valores depois das barras sendo os efeitos de cada fator ensaiado; (b) Gráfico de  $\Delta E$  em função dos níveis das enzimas ensaiadas. As barras denotam o intervalo de confiança.

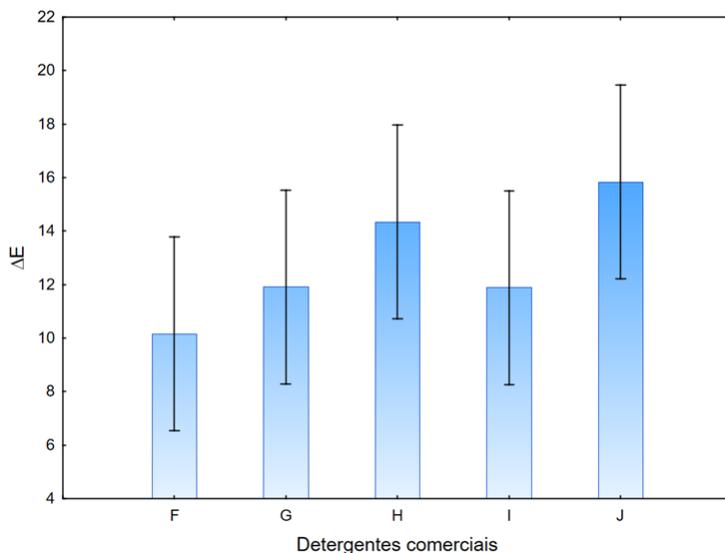


Fonte: Autor (2019).

#### 4.4.2 Ensaios com detergentes comerciais

Os resultados das lavagens realizadas com diferentes detergentes comerciais estão apresentados na Figura 14.

Figura 14 – Ação de detergentes comerciais na remoção de mancha de molho de tomate em comparação com o tecido manchado.



Fonte: Autor (2019).

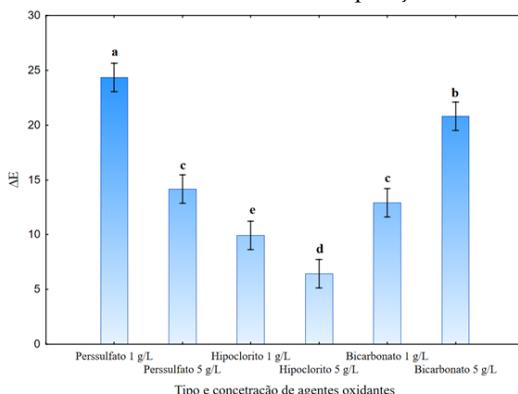
O comportamento da remoção de mancha com os detergentes comerciais demonstrou ser estatisticamente igual se comparado com as lavagens somente com água, a média do valor de  $\Delta E$  é ainda inferior.

Esses ensaios foram feitos para verificar como uma formulação comercial se comportaria frente aos resultados observados com as misturas de enzimas. Os valores observados em ambos os processos atingiram as mesmas ordem de grandeza, mesmo considerando o produto I, que contém em sua composição percarbonato de sódio, um composto que responsável pela liberação de Oxigênio ativo.

#### 4.4.3 Ensaios de lavagem com agentes oxidantes

Decidiu-se testar agentes oxidantes em composição com o tensoativo Berol 175 por se tratar de um álcool etoxilado (ambientalmente correto) e não apresentou diferenças importantes na remoção da mancha nos ensaios anteriores comparativamente aos outros dois tensoativos (Figura 15). Observa-se que houve diferença entre os agentes e as concentrações dos agentes utilizadas. O hipoclorito de sódio se apresentou como o agente com maior potencial de oxidação do licopeno, atingindo valores de  $\Delta E$  com o padrão branco de 5,12 e 8,62 para concentrações de 5 e 1 g/L, respectivamente. Assim, apesar da redução expressiva na cor, ainda não atingiu-se o valor desejado de  $\Delta E$  menor ou igual a 1.

Figura 15 – Ação de agentes oxidantes em combinação com enzimas na remoção de mancha de molho de tomate em comparação com o tecido branco



Fonte: Autor (2019).

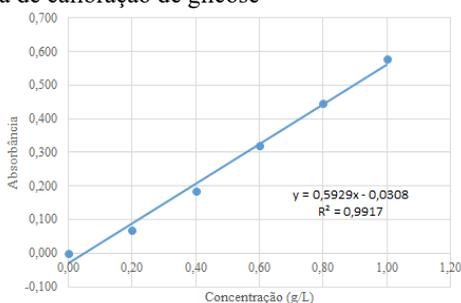
É possível verificar também que em todas as lavagens teve um ganho na remoção de cor. Esse resultado pode ser explicado por ser o licopeno uma substância antioxidante (reduzora) e a presença de agentes oxidantes promovem a sua descoloração. Uma forma de potencializar a redução na cor seria aumentar a temperatura do banho de lavagem e melhorar formas de aumentar o atrito. A mensuração das enzimas na solução foi mantida para efeito de comparação, entretanto o efeito dado é atribuído somente à ação dos agentes oxidantes usados.

## 4.5 ANÁLISE DE ATIVIDADES ENZIMÁTICAS

### 4.5.1 Amilase

Para a determinação da atividade enzimática de amilase, foi inicialmente construída a curva de calibração de glicose com a solução de DNS utilizada para a determinação da concentração de açúcares redutores formados a partir da hidrólise de amido promovida pela enzima  $\alpha$ -amilase quando da determinação da atividade enzimática. A curva de calibração está apresentada na Figura 16, onde se pode verificar que para concentrações de até 1 g/L de glicose obtém-se uma reta com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,9917.

Figura 16 – Curva de calibração de glicose



Fonte: Autor (2019).

Os valores obtidos das atividades nas soluções de lavagem contendo amilase foram muito próximos entre si, suscitando uma possibilidade que o valor dos açúcares redutores presentes no meio de lavagens possam ser provenientes do conteúdo de açúcares solúveis existente na formulação e na composição do próprio tomate com o qual

é feito o molho. Essa afirmação pode ser corroborada pela concentração de açúcares redutores presentes no meio de lavagem dos ensaios A1, onde não havia enzima e, portanto, não havia hidrólise catalisada. Com essa constatação, pode-se dizer que a enzima amilase não apresentou atividade nas soluções de lavagem.

Cabe ressaltar que os ensaios de lavagem e de determinação de atividade foram realizados a 40 °C, temperatura 15 °C abaixo da temperatura ótima de atividade da enzima utilizada. Assim, além dos fatores de presença de compostos que podem estar inibindo ou comprometendo, a enzima, em uma reação em temperatura aquém da temperatura ótima, poderia necessitar de um tempo maior para hidrolisar uma quantidade de amido que pudesse interferir na leitura da concentração de açúcares redutores num meio onde já existem açúcares no meio.

#### **4.5.2 Protease**

Os valores de atividade de protease obtidos estão apresentados na tabela B1 (APÊNDICE B). Observa-se que obteve-se atividade nos seguintes ensaios de lavagem A3, C3, C8, X5 e X11. Nos ensaios realizados com o tensoativo ácido sulfônico neutralizado, a protease não se apresentou ativa, o que sugere que esse tensoativo possui ação negativa sobre a enzima, provavelmente por ser um tensoativo aniônico. O tensoativo que se mostrou mais interessante para a manutenção da atividade da protease foi o álcool etoxilado (Berol 175) com o qual se deram os demais ensaios conduzidos com os agentes oxidantes. Entre os ensaios com agentes oxidantes a protease se mostrou ativa nos ensaios com Bicarbonato de sódio a 5% e hipoclorito de sódio a 1%. Esses resultados podem estar associados ao fato da enzima (Savinase® 16 L) utilizada ser já indicada para uso em formulação de detergentes para roupas, sugerindo que tenham certa resistência ao meio de lavagem de roupas, onde pode ter concentrações baixas de agentes oxidantes usados habitualmente nas lavanderias residenciais no Brasil. Essa resistência já não foi observada nos usos concomitante com persulfato de potássio em nenhuma concentração e em concentração mais elevada de hipoclorito de sódio.

Apesar da declaração do fabricante de existência de proteína no molho, o método utilizado não determina resíduos de proteína, mas é específico para a quebra da ligação de azocaseína, a qual forma o composto colorido, diferentemente do que ocorre no ensaio da atividade da amilase, cujo método sofre interferência dos compostos do meio.

Os valores de atividade enzimática aqui apresentada, apesar de haver coerência, deveriam ser refeitos para confirmação, dado que foram realizados apenas uma vez e sem duplicação em função da limitação de reagentes.

### 4.5.3 Lipase

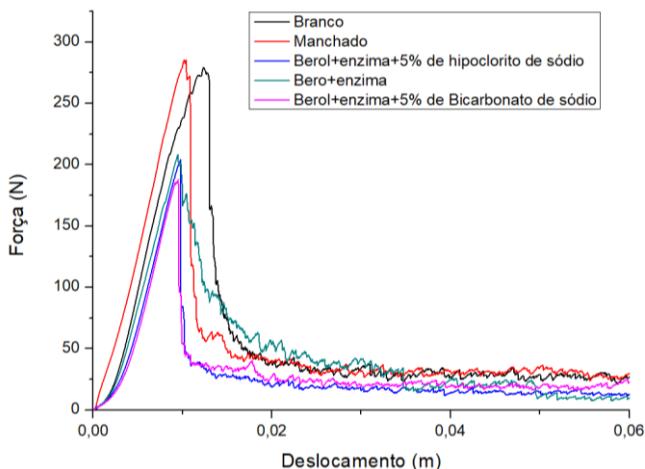
Após realizados os ensaios de atividade enzimática com a Lipase utilizada neste trabalho presentes no meio de lavagem, verificou-se que os valores obtidos foram bastante baixos. A atividade declarada pelo fabricante da enzima Lipozyme® TL 100 L (Novozyme) é de 100 KLU/g, sendo os resultados obtidos da ordem de 1-2 U/mL, donde se conclui que a lipase não apresentou atividade catalítica durante as lavagens.

Alguns efeitos podem estar contribuindo para esse resultado: inibição da enzima pelos agentes tensoativos ou de outros compostos presentes no meio, ação da enzima protease sobre a molécula protéica da lipase e a baixa temperatura dos ensaios de determinação de atividade enzimática (temperatura ambiente).

## 4.6 ENSAIO MECÂNICO

O resultado do ensaio mecânico obteve-se a curva de resistência à tração (Figura 17) das amostras após a lavagem comparando com a amostra sem manchar (branco).

Figura 17 – Curva de resistência mecânica



Fonte: Autor (2019).

Por meio do gráfico de tensão e deformação apresentado na Figura 17, observa-se uma redução no alongamento do tecido manchado em relação ao tecido branco, e mantendo-se esse mesmo comportamento após as lavagens. Aparentemente um tecido manchado com molho de tomate provoca uma redução no alongamento permanente no tecido.

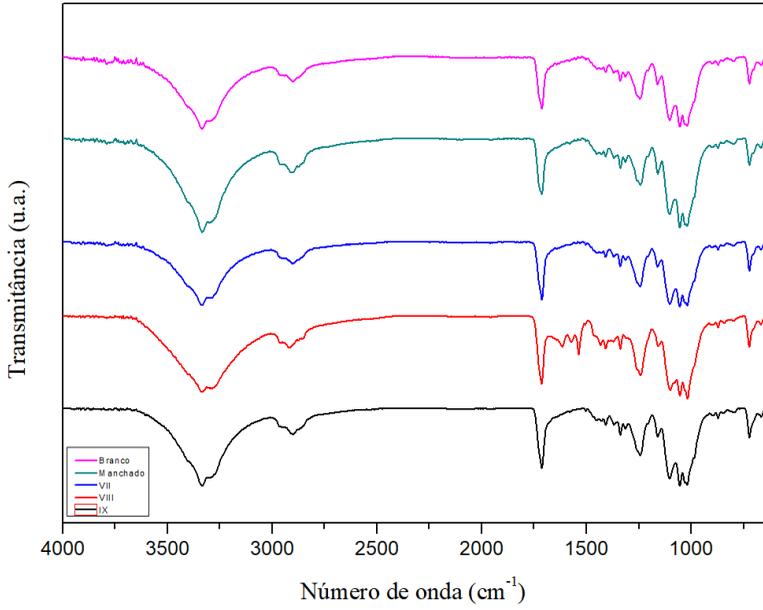
Por meio do gráfico (Figura 17) é possível notar os diferentes comportamentos que as amostras apresentam frente à resistência à tração. A primeira amostra denominada “Branco” é a amostra antes de sofrer o processo de manchamento, apresentando ponto de ruptura na ordem de 278,84 N. A segunda amostra, manchada, apresenta uma elevação no ponto de ruptura, representando ser 2,14% mais resistente que a amostra branca, sendo 20% menos elástica. (com menor alongamento).

O que é de interesse para esta análise são as outras três amostras que sofreram distintos processos de lavagem. No tratamento com o tensoativo e enzima pode-se observar que a amostra perdeu 25,5% de sua resistência. Já nos tratamentos utilizando agentes óxidos, a perda na resistência é ainda maior, de 27,8% com o uso de hipoclorito de sódio e 29,7% com o bicarbonato de sódio. Em questão de alongamento, os três tratamentos apresentaram diminuição de 24%, comparadas com a amostra branca.

#### 4.7 ANÁLISES DE FTIR

As análises de FTIR demonstram que não houve grande alteração nas ligações existentes no tecido. Por meio dessa análise não é possível informar se houve ligações covalentes entre os compostos do tecido de algodão e os compostos existentes no molho, visto que no diagrama não há diferença nos picos apresentados pelo tecido branco e os manchado e lavados. Se ocorreu alguma ligação entre o molho e o tecido são iguais às ligações dos compostos do tecido de algodão.

Figura 18 – Análises de FTIR dos tratamentos



Fonte: Autor (2019).

## 5 CONCLUSÃO

A realização deste trabalho mostrou que a remoção da mancha de molho de tomate necessita de um tratamento específico para sua eficiência. Muitos assuntos abordados e vistos ao longo do curso se tornam indispensáveis para o entendimento do assunto abordado. Com os estudos realizados nesse trabalho, pode-se concluir:

- i. Verificou-se a exigência de condições específicas para a remoção de manchas em tecidos;
- ii. A mancha de molho de tomate sabor bolonhesa se mostrou resistente aos componentes de lavagem testados, inclusive em presença de agentes oxidantes. Onde é notável a importância de métodos que conduzam a maior eficiência de limpeza de produtos têxteis;
- iii. O agente colorimétrico se mostrou recalcitrante, onde em apenas uma lavagem a ação das enzimas utilizadas nesse trabalho não foi suficiente para a remoção total da mancha;
- iv. Os testes de atividade enzimática demonstraram que as enzimas não permaneceram ativas após os processos de lavagem. Isso pode ser um indicativo de que as enzimas não participaram do processo de limpeza;
- v. Com resultado do uso de uma formulação completa de detergentes comerciais pode-se dizer que a mancha de tomate, cujo composto responsável pela cor é o licopeno, não pode ser removido somente por ação de detergente (remoção de sujidade);
- vi. A lavagem realizada apenas com água resultou num  $\Delta E$  próximo aos tratamentos utilizando as diferentes formulações de detergentes, demonstrando que para a remoção das sujidades solúveis não são necessários agentes de superfície;
- vii. Verificou-se a maior eficiência de remoção de cor com o uso de agentes oxidantes, devido às próprias características do licopeno, sendo este um composto redutor. Entretanto, dos agentes oxidantes utilizados, o hipoclorito de sódio mostrou os melhores resultados;
- viii. Em apenas um processo de lavagem, houve uma redução da resistência à tração acima de 25% em tecidos de algodão;

- ix. Os resultados mostram que nenhum dos métodos testados alcançou resultados adequados, não atingindo valores de  $\Delta E$  aceitáveis;
- x. Os resultados obtidos nesse trabalho contribuem para o conhecimento de remoção de manchas de molho de tomate devido a baixa existência de dados a respeito na literatura.

## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir das respostas obtidas neste trabalho, é apropriado sugerir opções para futuros trabalhos.

- i. Avaliar o uso de outro molho de tomate.
- ii. Estudar um método de melhor reprodução e uniformização da mancha.
- iii. Analisar os efeitos de diferentes condições de trabalho, alterando-se os valores de pH, temperatura, concentração de enzimas e agitação mecânica. Utilizando outros compostos químicos, como por exemplo, peróxido de hidrogênio.
- iv. Avaliação dos efeitos de mais de uma lavagem.
- v. Estudo do uso de outras enzimas, como enzimas oxidases e/ou produtoras de peróxido (glicose peroxidase).



## REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 10591**. Materiais têxteis: determinação da gramatura de superfícies têxteis. Rio de Janeiro, 2008.

ABNT. **NBR 12546**. Materiais têxteis, ligamentos fundamentais de tecidos planos: terminologia. Rio de Janeiro, 2017.

ABNT. **NBR ISO 105-C06**. Têxteis, ensaios de solidez da cor. Parte C06: Solidez da cor à lavagem doméstica e comercial. Rio de Janeiro, 2010.

ABNT. **NBR NM ISO 3758**. Têxteis: Códigos de cuidado usando símbolos. Rio de Janeiro, 2013.

ABRAPA. **Relatório de Conclusão da Safra de Algodão 2016/2017** - ABR e BCI. Disponível em:

<[https://www.abrapa.com.br/Documents/Sustentabilidade/Relat%C3%B3rio\\_de\\_Conclus%C3%A3o\\_da\\_Safra\\_de\\_Algod%C3%A3o\\_2016-2017\\_-\\_Programa\\_ABR\\_e\\_BCI.pdf](https://www.abrapa.com.br/Documents/Sustentabilidade/Relat%C3%B3rio_de_Conclus%C3%A3o_da_Safra_de_Algod%C3%A3o_2016-2017_-_Programa_ABR_e_BCI.pdf)>. Acessado em 25 abr. 2019.

AKZO NOBEL. **Ficha técnica**. 2013. Disponível em:

<[www.macler.com.br/.../80\\_aromox\\_mcdw\\_e\\_aromox\\_14dw970\\_-\\_ficha\\_tecnica.pdf](http://www.macler.com.br/.../80_aromox_mcdw_e_aromox_14dw970_-_ficha_tecnica.pdf)>. Acessado em: 30 mai. 2019.

ALVAREZ, F.E.; **Detergentes Enzimáticos**. Porto Alegre, p-15. 1994.

AMANTE, E. Efeito do cultivo orgânico e convencional sobre a vida-de-prateleira de alface americana (*lactuca sativa* L.) minimamente processada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos** v. 23, n.3, p. 418-126, 2003.

ANDRADE, L. T. A. **Processamento de molho de tomate da matéria prima ao produto acabado**. Tese de graduação em Engenharia de Alimentos. Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Católica de Goiás - UCG. Goiás, 2004. 112 p.

ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária). Resolução de Diretoria Colegiada – **RDC N° 55**, de 14 de novembro de 2012.

Disponível em: <

[http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/3153268/RDC\\_55\\_2012.pdf/719da261-765e-4d51-a7c2-62c69262c9b1?version=1.0](http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/3153268/RDC_55_2012.pdf/719da261-765e-4d51-a7c2-62c69262c9b1?version=1.0)>. Acesso em: 11 jun. 2019.

ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária). Resolução de Diretoria Colegiada – **RDC N°. 259**, de 20 de setembro de 2012.

Disponível em:

<[http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/RDC\\_259\\_2002.pdf/e40c2ecb-6be6-4a3d-83ad-f3cf7c332ae2](http://portal.anvisa.gov.br/documents/33880/2568070/RDC_259_2002.pdf/e40c2ecb-6be6-4a3d-83ad-f3cf7c332ae2)>. Acesso em 17 jun. 2019.

ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária). Resolução de Diretoria Colegiada – **RDC Nº. 276**, de 22 de setembro de 2005.

Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br/rotulo/>>. Acesso em 17 jun. 2019.

ARAÚJO, M; CASTRO, E. M. M. Manual de Engenharia Têxtil – V. I. Lisboa: **Fundação Calouste Gulbenkian**, 1986.

ARGÜELLO, M. A. *et al.* Utilization of enzymatic detergents to clean inorganic membranes fouled by whey proteins. **Separation and Purification Technology**, v. 41, n. 2, p. 147-154, 2005.

BAILEY, K. *et al.* Biochemical. **Engineering Fundamentals**, McGraw-Hill, New York, p. 984, 1986.

BALÁZSY, T.; EASTOP, D. Chemical Principles of Textile Conservation. **Chemical principles of textile conservation**. Routledge, 2012.

BELTRÃO, N. E. de M. O agronegócio do algodão no Brasil. **Brasília: Embrapa**. Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999.

BENQ Corporation. **Define accurate color**. Disponível em: <<https://www.benq.com/pt-br/knowledge-center/knowledge/define-accurate-color.html>>. Acessado em: 30 jun. 2019.

BERG, J. M.; TYMOCZKO, J. L.; STRYER, L. Bioquímica. 7. Ed. **GEN (Ed. Guanabara Koogan)**, Rio de Janeiro, RJ, 2014.

BORBA, E. S. *et al.* Avaliação da atividade enzimática em diferentes marcas de detergentes comerciais. **Projeto de Iniciação Científica Integrada (PIC-QUIMI)**. Instituto Federal Catarinense – Campus Araquari. Araquari, 2017.

BORLIDO, F. de J. A. **Produtos têxteis nos espaços escolares - jardins-de-infância**. Dissertação (mestrado, design e marketing). Universidade do Minho. Portugal, 2006.

BRASIL, G.A.R.; **Enzimas em produtos de limpeza**. **Brasília**. Dissertação (Ciências Biológicas). – Setor de Ciências Biológicas,

Faculdade de Ciências da Saúde, Centro Universitário de Brasília (UNICEUB), Brasília, 2003.

BUGG, T. D. H. **Introduction to enzyme and coenzyme chemistry**. John Wiley & Sons, 2012.

CASTRO, J.R. **Reprodução e caracterização de manchamentos causados por desodorante antitranspirante em malha de algodão buscando melhorar o desempenho de remoção**. Dissertação (Mestrado em Ciências) Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

COELHO, M. A. Z *et al.* Tecnologia enzimática. **Editora EPUB**, 2008.

CONMETRO (Conselho nacional de metrologia, normalização e qualidade industrial). **Regulamento Técnico Mercosul Sobre Etiquetagem de Produtos Têxteis**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/resc/pdf/RESC000213.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

DALTIN, D. Tensoativos: química, propriedades e aplicações / Decio Daltin – São Paulo: **Blucher**, 2011.

DICIO. Dicionário Online de Português, 2019. Disponível em: <<https://www.dicio.com.br/mancha>>. Acessado em: 30 jun. 2019.

EICHHORN, S. *et al.* Handbook of Textile Fibre Structure, Volume 2: Natural, Regenerated, Inorganic, and Specialist Fibres. **Woodhead Publishing in Textiles**, ed.1, 2009.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Padrões Universais para Classificação do Algodão**. Centro Nacional de Pesquisa de Algodão, Documentos n.151, 2006.

FERREIRA, S. M. R. **Característica da qualidade do tomate de mesa (*Lycopersicon esculentum Mill.*) cultivado nos sistemas convencional e orgânico comercializado na região metropolitana de Curitiba**. 249 p. Tese de doutorado em Tecnologia de Alimentos - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

FIESC. **Rotas estratégicas setoriais para a indústria catarinense 2022: Têxtil & Confecção** – Florianópolis: FIESC, 2014. 56 p.

FOGAÇA, J. R. V. **Ação Oxidante dos Alvejantes**. Disponível em: <<https://alunosonline.uol.com.br/quimica/acao-oxidante-dos-alvejantes.html>>. Acesso em 26 jun. 2019.

FORNI, R. **Higienização**. Projeto Mecânico de um sistema de higienização CIP (Cleaning In Place). Monografia (Graduação em engenharia mecânica). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

FROST & SULLIVAN. **Analysis of the Brazilian and Argentinian surfactants market**: strategic opportunities for a fast pace growing market. Mountais View, 2013.

FUJITA, R. M L. e JORENTE, M. J. A Indústria Têxtil no Brasil: uma perspectiva histórica e cultural. **Revista ModaPalavra e-Periódico** vol.8, n.15, 2015.

FUNDAÇÃO BLUMENAUENSE DE ESTUDOS TEXTEIS (Blumenau, SC). **Relatório exercício 1996**. Blumenau, 1996. p. 43.

GALGANO, P. D. **Líquidos Iônicos Tensoativos: Correlação entre Estrutura Molecular e Propriedades Micelares de Cloretos de 1,3-dialquilimidazólio**. Tese (doutorado), Instituto de Química da Universidade de São Paulo – SP, 2012.

GERVINI, M. E. I. **Higienização das roupas: de conceitos básicos à aplicação prática**. Universidade Federal de Pelotas – UFPEL, 1995.

GUPTA, R. *et al.* Microbial  $\alpha$ -amylases: a biotechnological perspective. **Process biochemistry**, v. 38, n. 11, p. 1599-1616, 2003.

ICAC – International Cotton Advisory Committee. 21 century, materials. Disponível em: <<https://www.icac.org>>. Acesso: 14 jun. 19.

JANSSEN, P.H. *et al.* Effect of culture conditions on the production of a extracellular proteinase by *Thermus* sp. Rt41A. **Applied Microbiology Biotechnology**, v. 41, p. 400-406, 1994.

KALAK, T.; CIERPISZEWSKI, R. Correlation analysis between particulate soil removal and surface properties of laundry detergent solutions. **Textile Research Journal**, v. 85, n. 18, p. 1884-1906, 2015.

KISSA, E. Kinetics and mechanics of detergency. Part III. Effect of soiling conditions on particulate soil detergency. **Textile research journal**, v. 49, n. 7, p. 384-389, 1979.

KISSA, E., Adsorption of particulate soils on textiles, **Textile research journal**, v. 43, n. 2, p. 86-95, 1973.

KONICA MINOLTA. Entendendo o Espaço de Cor L\*a\*b\*. Disponível em: <<http://sensing.konicaminolta.com.br/2013/11/entendendo-o-espaco-de-cor-lab/>>. Acessado em 30 jun. 2019.

KUMAR, D. *et al.* Microbial proteases and application as laundry detergent additive. **Research Journal of Microbiology**, v. 3, n. 12, p. 661-672, 2008.

LACERDA, A. *et al.* A conservação dos produtos têxteis: uma questão que vai além de uma boa apresentação pessoal. **Anais Colóquio Moda** n. 71778, 2010.

LAITALA, K., BOKS, C. e KLEPP, I. G., Potential for environmental improvements in laundering. **International Journal of Consumer Studies**, v. 35, n. 2, p. 254-264, 2011.

LEÃO, A. P. *et al.* Investigação e análise do método economicamente viável para a remoção de manchas. 14º Colóquio Moda, **anais** nº71904, 2010.

LIMA, L. R. **Estudo de parâmetros que podem influenciar a temperatura do ponto de nuvem do tensoativo renex-120**. Monografia (Engenheira Química), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN, Natal-RN, 2016.

LIMA, R. S. *et al.* Eficiência de Oxidação do Hipoclorito Comercial, Eletrogerado e Eletrogerado. In. **Rev. Virtual Quim**, v. 10 n. 4, p. 851-862, 2018.

LUND, H. *et al.* Correlation between enzyme activity and stability of a protease, an alpha-amylase and a lipase in a simplified liquid laundry detergent system, determined by differential scanning calorimetry. **Journal of Surfactants and Detergents**, v. 15, n. 1, p. 9-21, 2012(a).

LUND, H. *et al.* Protease and amylase stability in the presence of chelators used in laundry detergent applications: correlation between chelator properties and enzyme stability in liquid detergents. **Journal of Surfactants and Detergents**, v. 15, n. 3, p. 265-276, 2012 (b).

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 31, n. 3, p. 426-428, mar. 1959.

MOORE, J. F. Cotton classification and quality. The Cotton Industry in the United States. **USDA-ERS Agriculture Economy Report N°739**, Washington DC, p. 51-57, 1996.

MARSH, J. T. Introdução al acabado textil: aspectos más interessantes sobre el apresto y acabado de los tejidos. Barcelona : **Reverté**, 1957.

MASTERTON, W.; HURLEY, C. N. Chemistry: Principles and Reactions, 8 ed. **Cengage Learning**, 2015.

MATHER, R. R.; WARDMAN, R. H. The chemistry of textile fibres. **Royal Society of Chemistry**. Cambridge, 2015.

MEZZOMO, A. A. Lavanderia Hospitalar: Organização e técnica. São Paulo: **CEDAS**. 1980.

MOHAMED, A. A.; ALY, A. A. Iron deficiency stimulated some enzymes activity, lipid peroxidation and free radicals production in *Borage officinalis* induced in vitro. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 6, n. 1, p. 179-184, 2004.

MONTEIRO, C. S. **Desenvolvimento de molho de tomate *lycopersicon esculentum* mill formulado com cogumelo *agaricus brasiliensis***. Tese (Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Paraná – UFPR, 2008.

MONTEIRO, G. **Círculo de Sinner**. W2GP Soluções industriais. São Paulo. 2014. Disponível em: <<http://www.wg2p.com.br>>. Acessado em: 08 jun. 2019.

MOROI, Y. **Micelles: Theoretical and Applied Aspects**. 1. ed. Springer, 1992.

MOSSOTTI, R.; INNOCENTI, R.; GALANTE, Y. M. Estudos e propriedades da lã tratada com proteases. **Química Têxtil**, v. 71, p. 6-16, 2003.

MYERS, D. **Surfaces, Interfaces, and Colloids: Principles and Applications**, 2. ed. Wiley-VCH, 1999.

NAWAB, Y.; HAMDANI, S. T. A.; SHAKER, K. **Structural textile design: interlacing and interlooping**. CRC Press, 2017.

NIELSEN, M. S. *et al.* Peptide profiles and angiotensin-I-converting enzyme inhibitory activity of fermented milk products: effect of bacterial strain, fermentation pH, and storage time. **International Dairy Journal**, v. 19, n. 3, p. 155-165, 2009.

NOVOZYMES. **Enzymes**. Disponível em: <<http://www.novozymes.com>> Acessado em: 12/06/2019.

OLSEN, H. S.; FALHOLT, P. The role of enzymes in modern detergency. **Journal of Surfactants and Detergents**, v. 1, n. 4, p. 555-567, 1998.

PEREIRA, M. A. **Cartilha de Costurabilidade**, Uso e Conservação de Tecidos para Decoração, Comitê de Tecidos para Decoração da ABIT, Segunda Edição, 2011.

PICCHIAI, D. A visão sistêmica da lavanderia hospitalar: limites e propostas. **Revista de Gestão em Sistemas de Saúde RGSS**, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 124-147, 2013.

ROSA, C. L. S. *et al.* **Caracterização físico-química, nutricional e instrumental de quatro acessos de tomate italiano (*Lycopersicon esculentum* Mill) do tipo ‘Heirloom’ produzido sob manejo orgânico para elaboração de polpa concentrada**. Alim. Nutr., Araraquara, v. 22, n. 4, p. 649-656, 2011.

ROSEN, M. J.; KUNJAPPU, J. T. **Surfactants and Interfacial Phenomena**. 4. ed. Wiley, 2012.

SANTANA, J. C. F. de; WANDERLEY, M. J. R.; BELTRÃO, N. E. de M.; VIEIRA, D. J. Características da fibra e do fio do algodão: análise e interpretação dos resultados. In: **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologias, 1999.

SANTOS, A. L. **Fatores que influenciam no procedimento de higienização**. Dissertação (mestrado profissional em ciência e tecnologia do leite e derivados). Juiz de Fora, 2010.

SCHMITZ, A.; STAMMINGER, R. Usage behaviour and related energy consumption of European consumers for washing and drying. **Energy Effi.** v.7, n. 6, p. 937-954, 2014.

SEKHON, B. S.; SANGHA, M.K.; Detergents - Zeolites and Enzymes Excel Cleaning Power. **Resonance**, v. 9, n. 8, p. 35-45, 2004.

SCHANDA, J. **Colorimetry: understand the CIE system**. Hoboken: Wiley, 2007.

SHARMA, R; CHISTI, Y; BANERJEE, U. C. Production, purification, characterization, and applications of lipases. **Biotechnology advances**, v. 19, n. 8, p. 627-662, 2001.

SHRIMALI, K.; DEDHIA, E. Enzymatic Finishing of Textiles. **International Journal of Science and Research**, v. 5, n. 5, p. 674-677, 2016.

SILVA, L. G. de M. Biopurga de malha de algodão utilizando processo enzimático com associação de enzimas. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Engenharia Química), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2013.

SMULDERS, E. *et al.* Laundry Detergents. **Wiley-VCH**, Verlag GmbH & Co. KGaA. Germany, 2002.

SOUZA, A. S. *et al.* Spray-dried tomato powder: reconstitution properties and colour. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 51, n. 4, p. 607-614, 2008.

STONER, M. R. *et al.* Surfactant-induced unfolding of cellulase: kinetic studies. **Biotechnology progress**, v. 22, n. 1, p. 225-232, 2006.

TANFORD, C. **The Hydrophobic Effect: Formation of Micelles and Biological Membranes**. 2 Reprint ed. Krieger Pub Co, 1991.

TEXTILE EXCHANGE. **Preferred Fiber & Materials - Market Report 2018**. Disponível em <https://store.textileexchange.org/product-category/preferred-fiber-and-materials-market-reports/>. Acessado em 27 mai. 2019.

TWARDOKUS, R. G. **Reuso de Água no Processo de Tingimento da Indústria Têxtil**. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Engenharia Química), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.

VALE, T. Y. F. **Desenvolvimento de tensoativos e sistemas microemulsionados para recuperação de petróleo**. Tese de Doutorado (Pós-Graduação em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2009.

ZIMMER, K. R. *et al.* Enzimas microbianas de uso terapêutico e diagnóstico clínico. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 10, n. 14, p. 123-137, 2009.

## APÊNDICE A

Figura A1 – Homogeneidade da mancha após o processo de lavagem.



(a)

(b)



(c)

(d)

(a) Tratamento de lavagem utilizando somente água; (b) Tratamento A8 (tensoativo Aromox® + enzimas); (c) Tratamento B8 (tensoativo Ácido Sulfônico + enzimas); (d) Tratamento C8 (tensoativo Berol 175 + enzimas);

## APÊNDICE B

Tabela B1 – Atividade enzimática nos tratamentos.

Tratamento	Amilase [U/mL]	Lipase [U/mL]	Protease [U/mL]
A1	20642,34	1,47	—
A2	18168,72	—	—
A3	—	—	14532,75
A4	18106,88	—	—
A5	—	1,55	—
A6	17921,36	1,26	—
A7	—	1,50	—
A8	18292,40	2,14	—
B1	18972,65	—	—
B3	18725,29	—	—
B4	16931,91	—	—
B5	—	1,26	—
B6	—	1,15	—
B7	—	1,74	—
B8	17241,12	2,44	—
C2	17550,32	—	—
C3	—	—	5999,76
C5	18601,61	1,07	—
C8	18354,24	2,30	7121,94
X1	42162,82	1,63	—
X3	16189,83	1,34	—
X5	18045,04	1,13	1144,40
X7	16684,55	1,07	—
X9	19034,49	2,17	—
X11	19962,10	2,01	21454,70

Fonte: Autor (2019).