

**DESIGN E MATERIAIS: TÊXTIL ANTIMICROBIANO OBTIDO COM
REVESTIMENTO DE QUITOSANA PARA APLICAÇÃO EM CALÇADOS**

Dissertação de Mestrado

Linha 1: Tecnologia, Materiais e Ergonomia

Aluna: Clara de Melo Trindade

Orientadora: Prof.^a Dr^a Eliane Ayres

Coorientador: Prof. Dr. Ezequiel de Souza Costa Júnior

Belo Horizonte

Outubro de 2019

CLARA DE MELO TRINDADE

DESIGN E MATERIAIS: têxtil antimicrobiano obtido com revestimento
de quitosana para aplicação em calçados

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Design
pela Universidade do Estado de Minas
Gerais.

Linha de Pesquisa: Tecnologias, Materiais
e Ergonomia

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Eliane Ayres

Coorientador: Prof. Dr. Ezequiel de Souza
Costa Júnior

Belo Horizonte

Outubro de 2019

T832d

Trindade, Clara de Melo.

Design e materiais : têxtil antimicrobiano obtido com revestimento de quitosana para aplicação em calçados [manuscrito] / Clara de Melo Trindade .-- 2019.

121 f. , enc. : il., color. ; 31 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Estado de Minas Gerais. Programa de Pós-graduação em Design, 2019.

Orientadora: Profa. Dra. Eliane Ayres.

Bibliografia: f. 112-121

1. Calçados - Indústria. 2. Ergonomia – Processos de fabricação. 3. Tecnologia - Inovações. I. Ayres, Eliane. II. Universidade do Estado de Minas Gerais. Programa de Pós-graduação em Design. III. Título.

CDU: 355. 665.3

“Design e Materiais: têxtil antimicrobiano obtido com revestimento de quitosana para aplicação em calçados”

Autora: Clara de Melo Trindade

Esta dissertação foi julgada e aprovada em sua forma final para a obtenção do título de Mestre em Design no Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade do Estado de Minas Gerais.

Belo Horizonte, 16 de outubro de 2019.

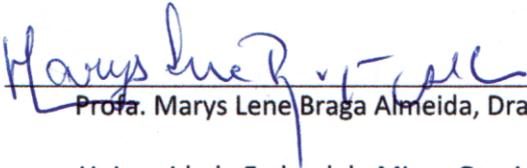

Rita A. C. Ribeiro
Coordenadora Mestrado e Doutorado
MASP 1231056-1
ESCOLA DE DESIGN - UEMG

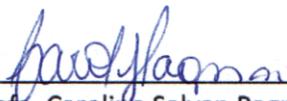
Prof^a. Rita Aparecida da Conceição Ribeiro
Coordenadora do PPGD

BANCA EXAMINADORA


Prof. Eliane Ayres, Dra.
Orientadora
Universidade do Estado de Minas Gerais


Prof. Ezequiel de Souza Costa Júnior, Dr.
Coorientador
Centro Federal de Educação Tecnológica
Minas Gerais


Prof. Marys Lene Braga Almeida, Dra.
Universidade Federal de Minas Gerais


Prof. Caroline Salvan Pagnan, Dra.
Universidade do Estado de Minas Gerais

Dedico este trabalho à todas e todos que influenciaram, direta e/ou indiretamente, no processo deste estudo. E aos futuros pesquisadores que continuam navegando no ofício da ciência.

AGRADECIMENTOS

O início de vivência na pós-graduação coincidiu com meu contato constante à Marisa Monte, artista presente no meu dia-a-dia para acalmar a alma com seu timbre doce. Em uma de suas canções que me marcam, deparei com a seguinte frase: “*nenhuma pessoa sozinha, ia*”. Isso reflete ininterruptamente a caminhada da vida, e no momento, recapitulando os últimos 27 meses, o quanto fui afortunada até então. A seguir, os protagonistas:

Agradeço a meus pais, Antônio e Magna, pelo constante incentivo. Sei que proporcionam o melhor que podem no alcance de vocês e sou grata por tudo. À também minha famosa “família quatro patas”, Duffy, Marceline e Beto, mal sabem como cada um torna a caminhada mais iluminada.

À minha orientadora, Eliane, pelo constante estímulo, dedicação, paciência e carinho. A criação de “monstrinhos da pesquisa” tem sido uma aventura e tanto, e sou extremamente grata por uma coisa que você me incentiva a crescer dia-a-dia e nada nem ninguém pode me tirar: o conhecimento. Obrigada.

Ao meu coorientador, Ezequiel, pelas reflexões, direcionamento e orientações que proporcionaram o encaminhamento da pesquisa com tamanho rigor e abertura de portas no CEFET/MG.

Às minhas amigas do Sagrado, em especial Marcella e Marina, os anos têm passado, mas nossas histórias se consolidam cada vez mais.

Aos queridíssimos Dart, Hermano, Nicolle e Victor. É difícil traduzir em palavras todo afeto, carinho, companheirismo presente e incentivo mútuo das nossas vivências, sou

grata à Escola de Design por interligar nossa caminhada profissional e por nos completarmos com a singularidade de cada um.

As queridas Julia, Lívia e Maria Clara e querido Pedro. Amizades que cresceram naturalmente nos últimos anos e que contribuem na caminhada da vida.

Às minhas companheiras de Mestrado, Fernanda, Fran, Gabi, Julia, Talita e Thais. Nossas temáticas de pesquisa são distintas, mas independente disso, o processo de pós-graduação não seria o mesmo sem vocês. Em especial, agradeço à Luciana, dividimos inúmeros momentos nesse trajeto, em sala de aula e laboratório, fortalecendo a nossa parceria em crescermos juntas no Mestrado. Obrigada por tornarem a caminhada mais enriquecedora!

Aos professores, ex-professores, colegas e ex-colegas do CDE/UEMG, com carinho, Artur, Daniel, Elisa, Heloísa, Julia e Liliane pelas trocas, incentivos, oportunidades e suportes no desenvolvimento do projeto de pesquisa e na vida.

À minha orientadora na graduação, Lia, e ao André pelo contínuo carinho e mentoria na caminhada escolhida. Meu crescimento profissional não seria o mesmo sem vocês, que me abriram as portas em 2015 no primeiro projeto que participei no CDE/UEMG. Hoje, é uma honra, compartilhar com vocês o ofício da docência no IAD/UFJF, meu muitíssimo obrigada.

À Andréia e Carol, também minhas mentoras, que me abraçaram dentro do CDE/UEMG após a conclusão da graduação. Obrigada de coração pelo constante carinho, incentivos, oportunidades e aconselhamentos.

Ao LEPCOM/UFMG e LIMCOP/UNIFEI, em especial Mercês, Monique e Sarah, pela infraestrutura e disponibilidade em contribuir para o desenvolvimento da pesquisa.

Ao LGCM/UFMG, pelo acolhimento de uma pesquisa em Design ser procedida em um laboratório na Biologia. Em especial à Nina, pela disponibilidade, apoio e conhecimento dedicado a este trabalho, sem você não seria possível a grandiosidade conquistada com a pesquisa. Meu muitíssimo obrigada.

À equipe do PPGD/UEMG, coordenadores, professores e funcionários.

À FAPEMIG pelo auxílio financeiro fornecido.

Aos meus colegas professores do IAD/UFJF, Silvia, Dourado, Sándor, Paulo e Róber, que contribuíram nos meus primeiros passos como docente, obrigada pela troca de experiências e paciência.

Por fim, a todos que de alguma forma tenham contribuído na concepção do trabalho e que não foram citados. Como podem ver, a lista é grande e o coração também.

Meu muito obrigada <3

“Tem vez que o que a gente chama vontade, fica maior e pode chamar coragem. (...) Derrubar o muro, bagunçar com tudo.”

TIM BERNARDES

RESUMO

A presente dissertação tem como objetivo de inserir a funcionalidade antimicrobiana em um tecido de origem vegetal. A partir desse resultado, o material modificado é direcionado à aplicação de um componente de calçados. A elaboração e estruturação dessa pesquisa tem como fundamento a percepção de uma preocupação da sociedade ao ideal de soluções mais sustentáveis de consumo, em combinação com a necessidade de diminuir as incidências de doença no pé, causadas por fungos, bactérias e microrganismos. A pesquisa buscou relacionar os conceitos de sustentabilidade para a moda, como *ecomoda* e *slow-fashion*, com a modificação do biopolímero de quitosana solúvel em água para o revestimento superficial do tecido de linho, dentro da revisão de literatura realizada. A partir disso, seguiu-se para estudos laboratoriais experimentais, e em seguida, o material modificado passou por uma série de caracterizações para averiguar suas propriedades químicas e mecânicas, como o ensaio antimicrobiano satisfatório e o ensaio mecânico de tração, onde o tecido modificado reflete no seu desempenho, apesar da nova funcionalidade. Por fim, a estruturação de um projeto de desenvolvimento de produto, exemplificando como nós, designers e pesquisadores, podemos contribuir no aprimoramento de componentes de calçados para projetos de design de calçados.

Palavras-chave: design e materiais; design de calçados; quitosana; beneficiamento têxtil; têxtil funcional antimicrobiano.

ABSTRACT

This dissertation aims to insert antimicrobial functionality in a tissue of plant origin. From this result, the modified material is directed to the application of a shoe component. The elaboration and structuring of this research is based on the perception of a societal concern with the ideal of more sustainable consumption solutions, in combination with the need to reduce the incidence of foot disease caused by fungi, bacteria and microorganisms. The research sought to relate the concepts of sustainability for fashion, such as *ecomoda* and *slow-fashion*, with the modification of the water-soluble chitosan biopolymer for the surface covering of linen fabric, within the literature review. From this, it was followed for experimental laboratory studies, and then, the modified material went through a series of characterizations to ascertain its chemical and mechanical properties, such as satisfactory antimicrobial test and mechanical tensile test, where the modified tissue reflects in its performance despite the new functionality. Finally, structuring a product development project, exemplifying how we designers and researchers can contribute to the improvement of shoe components for shoe design projects.

Key words: design and materials; footwear design; chitosan; functional textile; functional textile antimicrobial

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclos de vida “natural” e da moda rápida na Indústria da Moda.	29
Figura 2 - Contextos inseridos na experiência dos materiais.....	33
Figura 3 - Representação dos materiais.....	34
Figura 4 - Representação de um polímero.	34
Figura 5 - Processo produtivo do Linho (CL).....	37
Figura 6 - Estruturação dos tecidos planos.	41
Figura 8 - Componentes do tear (I- Urdume; II- Trama; III- Cala; IV- Pente).	42
Figura 9 - Ordem de cruzamento de tecidos planos (I- Tela ou tafetá; II- Sarja; III- Cetim).	43
Figura 9 - Etapas do processo produtivo do tecido de Linho (CL).	44
Figura 10 - Pad-dry-cure.	46
Figura 11 - Estrutura química da Quitina.....	48
Figura 12 - Estrutura química da Celulose.	49
Figura 13 - Estrutura química da Quitosana.....	49
Figura 14 - Fibras de algodão sem (U) e com (D) tratamento de CH51	
Figura 15 - Estágios de acabamento funcional do Linho (CL).	59
Figura 16 - Diagrama que mostra o ângulo de contato θ entre uma gota líquida e uma superfície plana horizontal.	65
Figura 17 - Diagrama que mostra a relação do ângulo de contato θ com a molhabilidade da superfície.....	65
Figura 18 - Funções do objeto.	67
Figura 19 - Classificação da pesquisa.....	72
Figura 20 - A pesquisa em etapas.....	73
Figura 21 - Etiqueta.....	74
Figura 22 - Beneficiamento de purga75	
Figura 23 - Caracterizações da pesquisa.	77
Figura 24 - Corpo de prova do Ensaio de Tração.....	82
Figura 25 - Corpos de prova e seus respectivos sentidos de corte.	82

Figura 26 - Etiqueta sem e com beneficiamento de quitosana	86
Figura 27 - Espectros de FTIR correspondentes a CH: (a) CHM e (b) CHS.....	86
Figura 28 - Resultado preliminar do teste antimicrobiano.....	89
Figura 29 - Resultado das soluções com QSA.....	92
Figura 30 - Ensaio antimicrobiano com tecido.....	94
Figura 31 - MEV das amostras CL puro, CL+BNLN, CL+1%CHMAP e CL+1%CHMAA com QSA.	96
Figura 32 - MEV das amostras de CHS nas concentrações de 1%, 2% e 3% com QSA.	97
Figura 33 - Ângulo de contato do CL puro (controle) e CL+3%CHS+QSA.	98
Figura 34 - Corpo de prova com rompimento sentido da urdume.....	99
Figura 35 - Média de força máxima no sentido urdume.....	99
Figura 36 - Média dos gráficos Extensão(mm) x Força (N) no sentido urdume.	100
Figura 37 - Corpo de prova com rompimento no sentido da trama.....	101
Figura 38 - Média da força máxima no sentido trama.....	101
Figura 39 - Média dos gráficos Extensão (mm) x Força (N) no sentido trama.	102
Figura 40 - Mapa mental do Projeto de Desenvolvimento de Produto (PDP).	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Amostragem.....	76
Tabela 2 - Quantidade de amostragem do substrato têxtil para o teste.....	79
Tabela 3 - Pesagem das etiquetas antes e depois do tratamento de purga	85
Tabela 4 - pH das soluções em estudo.	90
Tabela 5 - Média dos halos de inibição (Fig. 29) das soluções em estudo da figura.....	93
Tabela 6 - Zol dos substratos têxteis modificados.....	94
Tabela 7 - Cinco maiores medidas de ângulo de contato (θ) da CL e 3%CHS+QSA.	98
Tabela 8 – Primeiro pico registrado e seus respectivos 5 maiores picos de força (N) e valor de extensão (em mm) do ensaio no sentido urdume.	100
Tabela 9 - Primeiro pico registrado e seus respectivos 5 maiores picos de força (N) e seu valor de extensão (mm) do ensaio no sentido trama.	102

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos polímeros.....	34
Quadro 2 - Informações técnicas do linho.....	38
Quadro 3 -Tipos de ligamentos do tecido.....	43
Quadro 4 - Processos e finalidades do beneficiamento primário.....	44
Quadro 5 - Resumo bibliográfico.....	71
Quadro 6 - Lista de reagentes utilizados na rota para soluções.....	76
Quadro 7 - Resumo metodológico.....	84

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

°C	graus Celcius
µmL	Microlitro
µm	Micrometro
AA	Ácido acético
AATCC	Association of Textile Chemists and Colorists
ABIT	Associação Brasileira da Indústria Têxtil
ABICALÇADOS	Associação Brasileira das Indústrias de Calçados
ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
Ag	Prata
ASTM	American Society for Testing and Materials
BNLM	Solução de borracha natural e limoneno
CA	Ácido cítrico
CEFET/MG	Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
CH	Quitosana
CHM	Quitosana de média massa molecular
CHS	Quitosana solúvel em água
CL	Linho
cm ⁻¹	Número de onda
CO ₂	Dióxido de carbono
CRE	Registro de velocidade de extensão
Cu	Cobre

Ø	Diâmetro
EM	Ensaio mecânico de tração
FTIR	Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier
g	Gramas
g/m ³	Gramas por metro cúbico
%DA	Grau de desacetilação
h	Hora
HCl	Ácido clorídrico
ICB	Instituto de Ciências Biológicas
LbL	Camada por camada
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
min	Minutos
mL	Mililitro
mm	Milímetro
Na-Sc	Elementos leves da fluorescência de raios-x
NCCs	Nanocristais de celulose
PDP	Projeto de desenvolvimento de produtos
PFOTMS	Perfluorooctiltrimetoxisilano
QSA	Sal quaternário de amônio
T	Toneladas
Ti-U	Elementos pesados da fluorescência de raios-x
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
WCED	World Commission on Environment and Development

WDO	World Design Organization
XRF	Espectrometria de fluorescência de raios-x
Zoi	Zona de inibição

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	OBJETIVOS	26
2.1.	Objetivo geral	26
2.2.	Objetivos específicos	26
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
3.1	Sustentabilidade na moda	27
3.2	Design e materiais	31
3.3	Materiais poliméricos	34
3.2.1	Materiais têxteis	36
3.2.1.1	Linho	37
	<i>Matéria-prima</i>	38
	<i>Obtenção da fibra</i>	39
	<i>Fiação</i>	40
	<i>Tecelagem</i>	41
	<i>Beneficiamento têxtil</i>	44
3.2.2	Quitosana	47
3.2.2.1	Quitosana no processamento têxtil	51
3.2.2.2	Operações têxteis que envolvem a Quitosana	52
	<i>Quitosana como agente de engomagem e desengomagem</i>	52
	<i>Quitosana como agente auxiliar no processo de tingimento</i>	53
	<i>Quitosana como agente aglutinante no processo de impressão</i>	54
3.2.2.3	Quitosana como acabamento têxtil	54
	<i>Agente de acabamento antiamarrotamento</i>	54
	<i>Agente de acabamento antiestático</i>	55

Agente de acabamento retardante de chama	56
Agente de acabamento hidrofóbico	57
Agente de acabamento bloqueador UV	57
Agente de acabamento antimicrobiano	58
3.2.3 Quitosana solúvel em água (CHS)	59
3.4 Caracterizações dos materiais	62
3.4.1 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)	62
3.4.2 Ensaio de atividade antimicrobiana	63
3.4.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV).	63
3.4.4 Medidas de ângulo de contato	64
3.4.5 Ensaio mecânico de tração (EM)	65
3.5 Projeto de desenvolvimento de produtos (PDP)	66
3.5.1 Projeto de produto aplicado à calçados	69
4 METODOLOGIA	71
4.1 Campos da pesquisa	71
4.2 Classificação da pesquisa	72
4.3 A pesquisa em etapas	72
4.3.1 Materiais e métodos	74
4.3.2 Caracterizações	77
4.3.2.1 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)	78
4.3.2.2 Ensaio de atividade antimicrobiana	78
4.3.2.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	80
4.3.2.4 Medidas de ângulo de contato	80
4.3.2.5 Ensaio mecânico de tração	81
4.3.3 Projeto de produto aplicado à calçados	82
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	85
5.1 Eficiência da purga	85

5.2 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)	86
5.3 Ensaio de atividade antimicrobiana	88
5.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	95
5.5 Medidas de ângulo de contato	97
5.6 Ensaio mecânico de tração	99
6 PROJETO DE PRODUTO APLICADO À CALÇADOS	104
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	109
8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	111
9 REFERÊNCIAS	112

1 INTRODUÇÃO

O atual modelo de desenvolvimento de produção mostra sinais de ser totalmente insustentável, motivo pelo qual não será possível manter esse ritmo por mais tempo. Uma das questões a se destacar, é a grande degradação ambiental que os padrões dominantes de produção estão causando, apresentando esgotamento de recursos, extinção massiva de espécies e destruição de comunidades inteiras (SALCEDO, 2014).

Para Fletcher e Grose (2012), a cadeia da moda tem uma relação complexa com os grandes sistemas econômicos, ecológicos e sociais. Enquanto a moda faz uma reflexão sobre individualidade e pertencimento, ela também lida com produção tecnológica e cultura. Para uma abordagem sustentável no setor é preciso considerar tanto a produção das matérias primas, o processo de produção têxtil como também os modelos econômicos, as metas do setor e os valores e crenças do indivíduo com relação ao consumo

Em termos de Indústria de Transformação¹ no Brasil, os setores de produtos têxteis e de calçados apresentam uma notória participação medida pelo volume produzido dividido por horas trabalhadas. O primeiro, obteve um aumento de produtividade do trabalho entre 2008 e 2018 de 4,2%, enquanto a produtividade de calçados teve um ganho de produtividade entre 2016 e 2017 (PORTAL DA INDÚSTRIA, 2019). Segundo a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT) o Brasil está entre os 5 países de maior produção de manufaturas têxteis no mundo, produzindo das fibras até às confecções e empregando mais de 4 milhões de pessoas, somando empregos diretos e indiretos (ABIT, 2013). Já pelo setor calçadista, o país é o 4º maior produtor de calçados do mundo e gera cerca de 280 mil postos diretos de trabalho, com destaque para os polos calçadistas do Rio Grande do Sul, São Paulo, Ceará, Santa Catarina e Minas Gerais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE CALÇADOS, 2018).

¹ Indústria que transforma as matérias-primas obtidas na natureza, em utensílios para o ser humano.

Kutnjak-Mravlinčić *et al.* (2019) levantaram que existe um investimento das empresas de calçados voltadas na área química, para a implementação de outras funcionalidades no calçado além de manter sua aparência estética do objeto. Isso demonstra inovações e investigações de novos materiais voltados para a indústria calçadista.

Marcas focadas na transparência, na ética e no empoderamento da sociedade serão priorizadas cada vez mais pelos consumidores (CARVALHAL, 2016). A *Insecta Shoes* é uma empresa brasileira de sapatos e acessórios ecológicos e veganos, que nasceu em janeiro de 2014 em Porto Alegre, RS. A missão como marca é de conscientizar e educar seu público sobre sustentabilidade e seus pilares, como: veganismo, consumo consciente, redução de lixo, *upcycling*², reciclagem, entre outros. O sapato é concebido a partir da transformação de peças, aumentando a vida útil do que já existe pelo mundo. A marca em questão se diferencia em alguns aspectos, como no reaproveitamento da matéria prima, das grandes marcas de calçados do mercado nacional, e isso se inicia em seu público alvo. Os compradores da marca compactuam e praticam em seu estilo de vida o consumo consciente, sustentável e local, características presentes na *Insecta Shoes* (INSECTA SHOES, 2018).

Recentemente, muita atenção tem sido dada à quitina, quitosana e aos seus oligômeros como materiais bioativos naturais, devido a sua não toxicidade, biocompatibilidade e biodegradabilidade (LARANJEIRA *et al.*, 2009). Estes materiais são fontes renováveis e têm importantes propriedades estruturais e funcionais que os tornam atrativos para uma grande variedade de aplicações em muitos campos, tais como alimentos e nutrição, biomedicina, biotecnologia, agricultura e no tratamento de água, papel e tecidos (MOURYA e INAMDAR, 2008).

² *Upcycling*: reciclagem que cria materiais mais valiosos, ou seja, busca-se dar uma segunda vida aos resíduos (SALCEDO, 2014).

O tratamento de tecidos com quitosana tem como característica produzir um tecido multifuncional. Em relação aos aspectos químicos, tal polímero tem a capacidade de realçar a intensidade da cor do material sobre o qual foi aplicado, e proporciona também um aumento considerável da resistência microbiana dos materiais têxteis tratados, porém apresenta baixa solubilidade em água à um pH neutro e possui pouca durabilidade na superfície têxtil (SHAHID E BUTOLA, 2019; SHEIKH E BRAHMECHA, 2018; DHIMAN *et al.*, 2017; ROY *et al.*, 2017; TAMAYO *et al.*, 2016; TANG *et al.*, 2016).

A quitosana, sendo solúvel em meio ácido, tem sua cadeia carregada positivamente quando dissolvida em soluções aquosas com pH <6,5, o que o torna limitado em alguns aspectos por não dissolver facilmente em meio aquoso (LI *et al.*, 2019; SHAHID E BUTOLA, 2019). Entretanto, nos últimos anos, a quitosana solúvel em água (CHS) vem atraído a atenção de muitos pesquisadores devido à sua solubilidade em meio aquoso, ou seja, a oportunidade de estudos futuros com o biopolímero e sem limitações de pesquisa. Para obter este resultado, o biopolímero vem sendo sintetizado em uma variedade de estruturas e de diferentes maneiras ao substituir seus grupos hidrofílicos e aumentar sua aplicabilidade em distintos segmentos científicos (KAHNYA, 2018; BRABER *et al.*, 2017 ; DU e ZHANG, 2009; SASHIWA *et al.*, 2002; XIE *et al.*, 2001).

Produtos têxteis, principalmente os oriundos de fibras naturais, proporcionam um excelente ambiente para o crescimento de microrganismos graças à sua grande área superficial e habilidade de reter umidade. Para o desenvolvimento de produtos têxteis antimicrobianos, muitos reagentes químicos inorgânicos são utilizados, no entanto, muitos destes produtos químicos são tóxicos para os seres humanos e não se degradam facilmente no ambiente. Esses fatores viabilizam a utilização de quitosana como um novo agente antimicrobiano para produtos têxteis (LIM E HUDSON, 2003).

Potenciais aplicações de materiais têxteis de origem natural, como o Linho (CL), ganharam mais consideração por suas propriedades favoráveis, como: disponibilidade; biodegradabilidade; hidrofiliabilidade; propriedades de conforto ao toque; boa reatividade química. O tecido de CL é proveniente da fibra natural de

origem vegetal de um cultivo de rápido crescimento, procedente do talo da planta de mesmo nome. Suas fibras também são reconhecidas por serem materiais de menor impacto ambiental, quando se trata de matéria prima para produção têxtil quando comparadas às fibras do algodão (EPOYOGLU *et al.*, 2018; PEZZOLO, 2013).

Os têxteis funcionais têm criado possibilidades de desenvolvimento técnico funcional em tecidos, a partir de um simples acabamento na etapa final de beneficiamento no processo de manufatura. Nos últimos anos uma larga variedade de propriedades funcionais para tecidos tem sido desenvolvidas, seja por meio químico, bio-acabamentos e até mesmo no avanço de funcionalidades múltiplas (ROSHAN, 2019).

Por design podemos entender toda atividade que tende a transformar em produto industrial passível de fabricação, as ideias para a satisfação de determinadas necessidades de um indivíduo ou grupo (LÖBACH, 2001), além de planejar atividades de modificações e variações do produto (BAXTER, 2000).

No contexto do design, o material participa a todo momento da especificação técnica do projeto, uma vez que ele interage no processo e reflete na forma do produto (LIMA, 2008). Manzini e Vezzoli (2008) apontam a importância do papel do designer na escolha e aplicação dos materiais no desenvolvimento de produtos, uma vez que há formas de conduzir a sustentabilidade ao mudar a perspectiva da situação e focar em soluções alternativas no processo.

Portanto, vislumbra-se com a presente pesquisa a combinação entre linhas de conhecimento em Design e Engenharia de Materiais para o desenvolvimento de produtos responsáveis em termos de meio ambiente, na aplicabilidade da quitosana solúvel em água como beneficiador têxtil do linho, tornando-o funcional ao aumentar sua atividade antimicrobiana. A pesquisa visa unir inovação e sustentabilidade ao testar e analisar a aplicação desse revestimento, uma vez que ele substitui reagentes comumente utilizados, porém nocivos da indústria têxtil com sugestão de aplicabilidade da matéria prima modificada como componente de calçado.

As informações explicitadas anteriormente encontram-se divididas entre a **Revisão Bibliográfica** – com levantamento de informações dentro da temática, abordando sobre a sustentabilidade na moda, design e materiais, materiais poliméricos, caracterizações dos materiais e projeto de desenvolvimento de produto –, em seguida, a **Metodologia** aplicada para a pesquisa – desde do seu campo de atuação, classificação e ela descrita em etapas -, seus **Resultados e Discussões** – em torno dos materiais manipulados –, o **Projeto de Produto Aplicado à Calçados** – vislumbrando sua possível aplicação em produto –, as **Considerações Finais** e por fim, **Sugestões para Trabalhos Futuros**.

2 OBJETIVOS

Considerando o contexto a partir da perspectiva da sociedade em enaltecer o desenvolvimento de soluções sustentáveis de consumo, como o design pode auxiliar no desenvolvimento de têxteis e componentes de calçados com menor impacto ambiental?

2.1. Objetivo geral

Modificar superficialmente o tecido de linho, a partir de revestimentos de quitosana solúvel em água, conferindo-o ação antimicrobiana com aplicação da matéria-prima como componente para a confecção do calçado.

2.2. Objetivos específicos

- I. Realizar o pré-tratamento no substrato (tecido de linho) para maior aderência da solução de quitosana no tecido;
- II. Obter soluções de quitosana solúvel em água (CHS) em diferentes concentrações;
- III. Averiguar a capacidade do tecido modificado em comparação com a matéria-prima sem funcionalidade para um estudo comparativo do seu comportamento químico-físico e mecânico;
- IV. Propor um projeto de calçado para aplicação da matéria-prima modificada.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O capítulo em questão apresenta o levantamento de informações acerca da dissertação, sendo o referencial bibliográfico a sustentabilidade na indústria da moda, a relação entre *design* e materiais e seus respectivos biopolímeros a serem estudados e explorados (quitosana – CH; o tecido de linho – CL). Além disso, noções sobre a maneira de avaliar e discutir o material explorado e o desenvolvimento do projeto de produto, com ênfase em calçados.

3.1 Sustentabilidade na moda

A Revolução Industrial, propôs ao homem o auxílio mecânico para aproveitar os recursos da natureza, mudando drasticamente a relação entre a humanidade e o meio ambiente, sem se atentar para os efeitos negativos que esse comportamento poderia ter (SLATER, 2003). Segundo Satish Kumar, “o século XX foi o século da ciência e da tecnologia. A época do crescimento econômico, o século do petróleo. No século XXI estamos experimentando as consequências dos excessos do século anterior.” (SALCEDO, 2014).

De acordo com Heskett (2005), chegamos no limite de capacidade para moldar nosso mundo devido aos poucos recursos deixados em perfeitas condições do planeta, condicionando, portanto, a vida em resultados projetados de um tipo ou outro. Segundo a *World Commission on Environment and Development*³ (WCED) (1987) a humanidade possui a habilidade de se desenvolver sustentavelmente para garantir que as necessidades do presente não comprometam as gerações futuras dentro de suas necessidades. O conceito de desenvolvimento sustentável implica limitações impostas pelo atual estado dos recursos ambientais e pela capacidade da biosfera de absorver os efeitos das atividades humanas impostas pelo atual estado da tecnologia e organização social.

³ Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, traduzido pela autora.

A sustentabilidade e as preocupações que a acompanham vão além, deve-se adaptar um estilo de vida para às necessidades do presente, sem comprometer as gerações futuras (ASHBY E JOHNSON, 2011). Tecnologias emergentes oferecem maior produtividade, eficiência e menor poluição, porém, carregam consigo novos riscos de resíduos tóxicos e acidentes em escala além dos atuais mecanismos de enfrentamento. Portanto, há uma necessidade em rever o uso dos reagentes químicos nocivos e seu despejo no meio ambiente (WCED, 1987).

De acordo com Fletcher (2014) e para a presente proposta de dissertação, o termo moda refere-se aos produtos relacionados à temática como vestuário e acessórios. Além disso, a moda reflete e comunica a identidade do indivíduo na sociedade, e conecta também as noções entre o tempo e espaço para contextualização em diferentes áreas do conhecimento.

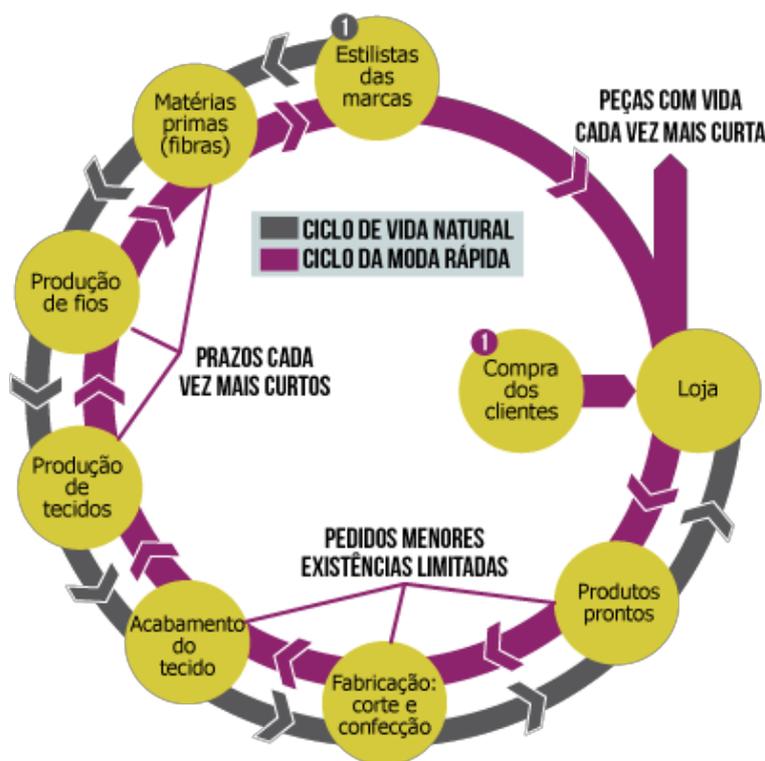
A indústria da moda está relacionada a muitos dos problemas ambientais como, mudança climática; efeitos adversos sobre a água e seus ciclos; poluição química; perda da biodiversidade; uso excessivo e mau uso de recursos não-renováveis; produção de resíduos; impactos negativos na saúde humana e efeitos sociais prejudiciais nas comunidades produtoras (FLETCHER e GROSE, 2012). Tornando-se, portanto, um dos sistemas mais prejudiciais ao planeta, principalmente nos últimos anos graças ao fenômeno conhecido como moda rápida (*fast fashion*) (FLETCHER, 2014).

De acordo com Brooks (2015), a moda rápida é impulsionada pela lógica de mercado, sob o olhar do capitalismo, com a necessidade de aumentar continuamente os lucros da empresa, trazendo mais e mais produtos para o mercado. Novas roupas são comercializadas como sendo a “última” moda, implicando que a posse e o uso da roupa se tornam passageiras, pois as roupas acessíveis financeiramente são feitas

com materiais de má qualidade e com uma execução técnica inferior, fazendo com que a rápida duração e descarte da roupa gerem impacto no meio ambiente.

Salcedo (2014) esclarece o ciclo da moda rápida (Fig. 1). Nota-se que seu ciclo inicia na retroalimentação do consumidor, ou seja, a partir dos seus ciclos de compras, e com seus dados, gera-se novas produções ou movimentos de mercadoria, exigindo dos seus fornecedores prazos cada vez mais curtos (como na manufatura das matérias primas) para o abastecimento das lojas com produtos “desejados” pelo consumidor. Em contrapartida, o ciclo de vida natural, como a autora denomina, o desenvolvimento do produto se inicia a partir dos estilistas da marca, que vai variar de acordo com a demanda da empresa, seguindo pelo seu processo convencional.

Figura 1 - Ciclos de vida “natural” e da moda rápida na Indústria da Moda.



Fonte: Salcedo, 2014 (adaptado pela autora).

A partir desse ciclo, nota-se os três objetivos principais da moda rápida:

- 1 Faz com que o consumidor encontre novas peças com mais frequência nas lojas;
- 2 O produto se adapta melhor aos gostos e necessidades do consumidor;
- 3 E por fim, faz com que o consumidor compre mais.

A indústria da moda pode necessitar de se transformar para acompanhar as mudanças e as necessidades do novo mundo, devido à constante evolução da consciência do consumidor, gerando novas competitividades entre as marcas (CARVALHAL, 2016). Segundo Sorger e Udale,

“A moda move-se rapidamente em comparação a outras indústrias criativas e isso se reflete na pressão constante para lançar tendências a cada estação. Os designers precisam buscar constantemente novas inspirações para manter seu trabalho atual, contemporâneo e, acima de tudo, para se manterem motivados.” (SORGER e UDALE, 2009, p16)

Salcedo (2014) apresenta em seu livro alternativas de moda mais sustentável e suas respectivas definições para esclarecimento das diferentes terminologias existentes, sendo elas:

- I. Ecomoda: (ou moda ecológica, moda bio ou moda orgânica) engloba todos os produtos de moda feitos por métodos menos prejudiciais ao meio ambiente, reduzindo, portanto, o impacto ambiental;
- II. Moda Ética: além de considerar o meio ambiente, a moda ética também se concentra na saúde dos consumidores e nas condições de trabalho dos indivíduos na indústria da moda;
- III. Moda lenta (*slow-fashion*): diferente do *fast-fashion*, o enfoque do *slow-fashion* recai na consciência dos estilistas, compradores, distribuidores e consumidores do impacto da moda sobre pessoas e ecossistemas. Enxergando, portanto, o consumidor e seus hábitos como parte importante da cadeia, dando lugar a relações diferentes entre o estilista e produtor, o fabricante e as peças, a roupa e consumidor.

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), o desenvolvimento sustentável possui três pilares, segmentados entre pessoas, planeta e lucro. O primeiro pilar em como afeta o clima social, ético e político nas comunidades em que opera. O segundo, leva em consideração o consumo dos recursos renováveis e não-renováveis, emissões para a atmosfera e resíduos gerados, sendo o pilar mais importante. E por fim, o pilar de lucro, as organizações precisam considerar como podem se tornar economicamente sustentáveis a longo prazo (BHAMRA e LOFTHOUSE, 2007).

Organizações com propósito claro e verdadeiro têm atraído pessoas com paixão, comprometimento, criatividade e energia para atuar com entrega e disposição, pois ali o colaborador se sente fazendo parte de algo maior, relevante para o mundo. E até mesmo a relação com os clientes muda. As pessoas que se engajam com o propósito da marca são mais do que apenas “compradores”, pois passam a disseminá-la. Ou seja, cria-se laços entre todos os participantes da cadeia produtiva da peça com o consumidor (CARVALHAL, 2016).

3.2 Design e materiais

A influência da Revolução Industrial não atingiu apenas o artesanato tradicional, mas também trouxe o aumento das inovações técnicas, e propiciou o surgimento de novas indústrias com processos mecanizados aplicados à produção de uma série de formas novas (HESKETT, 2012). Cardoso (2016) afirma que o *design* nasceu com o propósito de dispor ordem do mundo industrial, entre meados do século XVIII e fins do século XIX. De acordo com a *World Design Organization*⁴ (WDO),

Design industrial é um processo estratégico de solução de problemas que impulsiona a inovação, constrói negócios de sucesso, e direciona a partir de produtos, sistemas, serviços e experiências inovadoras uma melhor qualidade de vida. O design industrial preenche a lacuna entre o que é e o

⁴ Organização Mundial de Design, traduzido pela autora (2018).

que é possível. [...] A disciplina combina inovação, tecnologia, pesquisa, negócios e clientes ao prover uma nova e competitiva vantagem entre as esferas econômicas, sociais e ambientais. (WORLD DESIGN ORGANIZATION, 2015, traduzido pelo autor).

Flusser (2013) completa,

“[...] design significa aproximadamente aquele lugar em que arte e técnica (e, conseqüentemente, pensamentos, valorativo científico) caminham juntas, com pesos equivalente, tornando possível uma nova forma de cultura” (FLUSSER, 2013, p. 184)

Ashby e Johnson (2011) afirmam que design e materiais é uma combinação entre os elementos de arte e ciência que funcionam juntos. Os autores ainda completam

O que importa é o processo de achar soluções que sejam significativas para as pessoas, que proporcionem novas experiências e inspirem e criem impacto positivo na sociedade e em nossa vida diária. (...) Os avanços na área de materiais permitem avanços no design industrial, assim como o fazem com o projeto técnico – juntos, os avanços podem gerar novos comportamentos, novas experiências. (ASHBY e JOHNSON, p. 4, 2011).

Wilkes *et al* (2016) afirmam que os materiais passam por diferentes disciplinas do conhecimento na sua jornada do laboratório ao mercado. Os materiais atuam com dois protagonismos, o de funcionalidade técnica e o de criar personalidade para o produto (ASHBY e JOHNSON, 2011).

Wilkes *et al* (2016) completam que os *designers* costumam ser a conexão entre a sociedade e o laboratório. Pagnan (2018) discorre sobre a necessidade de construção de uma interlocução entre o desenvolvimento de materiais e o design. O domínio do profissional acerca da ciência dos materiais contribui para a tangibilização de informações a serem recebidas pelo usuário que são definidas no desenvolvimento projetual.

Além dos significados estéticos e funcionais, os materiais possuem um imenso significado social, graças às suas associações culturais e históricas, portanto, suas propriedades físicas não podem ser isoladas (WILKES *et al.*, 2016). A relação entre as propriedades físicas, “expresso-sensoriais” e associações históricas e culturais em contexto específico de uso, resulta na experiência do material (Fig. 2).

Figura 2 - Contextos inseridos na experiência dos materiais.



Fonte: Wilkes *et al.*, 2016 (traduzido pela autora).

Ashby e Johnson (2011) afirmam que através da História, os materiais ditaram as oportunidades e limites do design, por ser sua matéria prima. Os materiais são segmentados convencionalmente por três grupos básicos – metais, cerâmicas e polímeros. Esse esquema adotado é baseado primeiramente na composição química e estrutura atômica, onde a maioria se enquadra em um agrupamento ou outro. Além disso, existem os compósitos, combinações projetadas de dois ou mais materiais distintos (Fig. 3) (CALLISTER JR e RETHWISCH, 2009).

Figura 3 - Representação dos materiais.

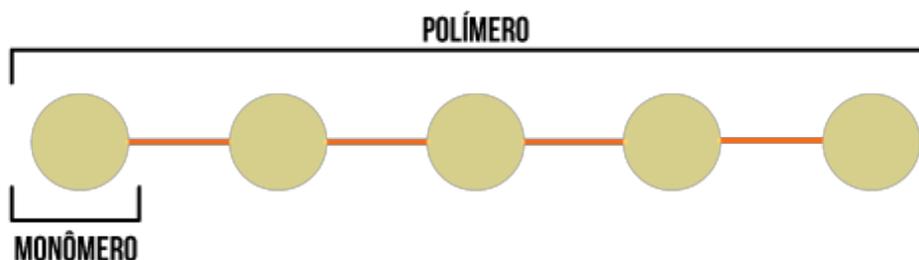


Fonte: Domínio público, 2019 (adaptado pela autora).

3.3 Materiais poliméricos

Sendo um dos objetos de estudo da dissertação, os polímeros são entidades unitárias, denominada de “macromoléculas caracterizadas por seu tamanho, estrutura química e interações intra- e intermoleculares” (MANO e MENDES, 1999). Em sua estrutura, possuem unidades, denominado de monômeros, ligadas e repetidas regularmente ao longo da cadeia conforme esquematizado a seguir (Fig. 4). Vale ressaltar que o termo polímero é utilizado para representar a junção de muitos monômeros em sua cadeia, reação designada de grau de polimerização (MANO e MENDES, 1999).

Figura 4 - Representação de um polímero.



Fonte: elaborado pela autora, 2019.

A classificação dos polímeros pode segmentada por 9 critérios, a seguir no quadro 1, sendo as principais:

Quadro 1 - Classificação dos polímeros.

Critério	Classe do polímero
Origem do polímero	I. Natural; II. Sintético.
Número de monômeros	I. Homopolímero; II. Copolímero.

Estrutura química da cadeia polimérica	I. Poli-hidrocarboneto; II. Poliamida; III. Poliéster; Etc.
Solubilidade do polímero	I. Termoplástico; II. Termorrígido.
Comportamento mecânico	I. Borracha ou elastômero; II. Plástico; III. Fibra; IV. Adesivos.

Fonte: Mano e Mendes, 1999 (adaptado pela autora).

De acordo com o relatório da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) (2009), a durabilidade dos polímeros no meio ambiente gera efeitos nocivos, devido ao seu mal-uso ou descarte inadequado dos materiais não degradáveis. As alternativas frente a esse cenário são o desenvolvimento de novos materiais mais amigáveis ao meio ambiente e o incentivo à reciclagem.

Niaounakis (2015) compila que dentro dos tipos de polímeros existentes, encontra-se os biopolímeros, e sua definição permeia em polímeros biodegradáveis derivados de fontes renováveis, bem como biológico e fósseis e pode ser dividida por duas segmentações, sendo

- I. Tipo A: obtidos a partir de matéria-prima renovável (de base biológica) e biodegradável;
- II. Tipo B: também obtidos a partir de matéria-prima renovável (de base biológica), porém não biodegradável;
- III. Tipo C: obtidos a partir de combustíveis fósseis e biodegradável.

Atualmente os biopolímeros representam apenas 1% do total de materiais plásticos produzidos, mas segundo uma previsão futura, a capacidade total de produção de 2,05 milhões de toneladas em 2017 alcançará entre 2,25 até 5,95 milhões de toneladas em 2021 (ANDREEßEN e STEINBÜCHEL, 2018).

Existe uma alta demanda no desenvolvimento e manipulação dos biopolímeros em indústrias, desde bens de consumo, indústria têxtil, embalagens e até fabricantes de automóveis. Em período inicial, a indústria investiu em polímeros biodegradáveis⁵ para aplicações de curto prazo na resolução de problemas com resíduos poliméricos sintéticos (ANDREEßEN e STEINBÜCHEL, 2018).

O atual cenário mostra uma concentração de aplicações dos biopolímeros a partir de processos sustentáveis, que envolvam substratos derivados de biomassa, promovendo propriedades aprimoradas nos materiais ou até mesmo novas, ao substituir o polímero petroquímico (ANDREEßEN e STEINBÜCHEL, 2018).

3.2.1 Materiais têxteis

Dentro do universo da moda, as fibras naturais à base de celulose são selecionadas devido as boas propriedades na leveza e robustez. Além disso, busca-se o desenvolvimento de coleções 100% neutras em carbono por serem consideradas duráveis, recicláveis e biodegradáveis (EPOYOGLU *et al.*, 2018; SAMANTA, 2016).

A produção de têxteis tradicionais e de moda sustentável acaba necessitando que as matérias-primas, reagentes químicos e a cadeia de valor do produto sejam sustentáveis em termos de consumo energético, de água, custo, fibra e biodegradabilidade. Devido a isso, no presente trabalho o linho foi escolhido como tecido a ser modificado, nas operações têxteis presentes para confecção do tecido em estudo.

Cerkez *et al.* (2011) discorrem sobre a necessidade de realizar revestimentos multifuncionais em superfícies têxteis para melhorar a qualidade de vida humana, além de prover mais qualidade de saúde. No caso, os autores buscaram importar a característica biocida e aumentar essa durabilidade em um tecido de algodão pelo

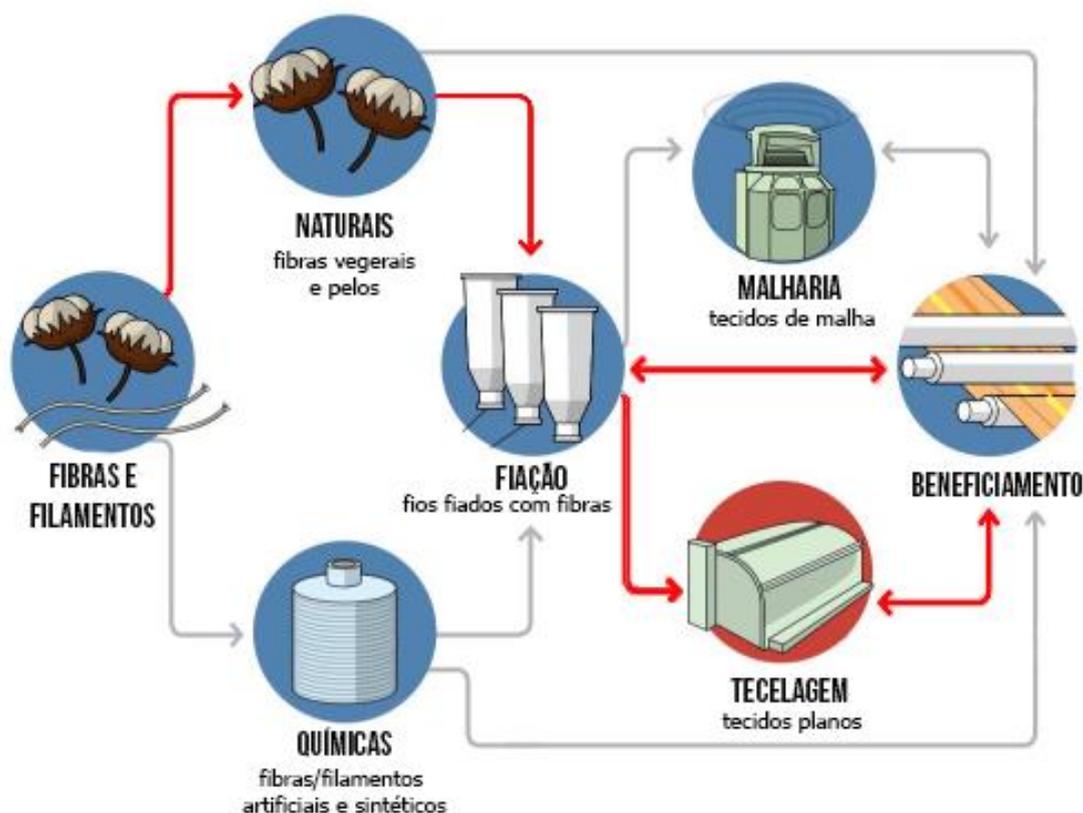
⁵ São biopolímeros que num prazo máximo de seis meses devem ter no mínimo 90% do seu carbono orgânico convertido em dióxido de carbono (AMARAL, 2009).

procedimento de *pad-dry-cure*. A partir dessa breve contextualização sobre a relação entre as disciplinas de Design e Engenharia de Materiais, a seguir encontra-se os polímeros estudados para a presente pesquisa, o tecido de linho (CL) e a quitosana (CH) e quitosana solúvel em água (CHS), respectivamente.

3.2.1.1 Linho

A matéria-prima direcionada para a indústria têxtil é denominada de fibra, sendo classificadas pela sua composição, segmentadas por naturais ou químicas. Em seguida são fiadas, formam o tecido e por fim passam pelo beneficiamento têxtil. O processo da matéria-prima de composição natural em estudo pode ser analisado a seguir (Fig. 5).

Figura 5 - Processo produtivo do Linho (CL).



Fonte: SENAI MIX DESIGN, 2015 (modificado pela autora).

Dentro do universo da moda, as fibras naturais base de celulose são seleccionadas devido as boas propriedades na leveza e robustez. Além disso, busca-se o

desenvolvimento de coleções 100% neutras em carbono por serem consideradas duráveis, recicláveis e biodegradáveis (EPOYOGLU *et al.*, 2018; SAMANTA *et al.*, 2016).

Matéria-prima

O tecido de CL é proveniente da fibra natural de origem vegetal de um cultivo de rápido crescimento, procedente do talo do linho. Sua planta cresce em torno de 1m de altura, com talos entre 2-3mm de diâmetro (\emptyset) (EPOYOGLU *et al.*, 2018).

A fibra em estudo possui qualidades inerentes como conforto, alta absorção, resistência e durabilidade. É também considerada a fibra natural mais forte, por possuir uma capacidade de deformação superior às outras fibras naturais. Sua aplicação no mercado divide entre 50% utilizado no vestuário; 20%, em roupa de casa, e 13%, na decoração de interiores. Seu restante, destina-se à fabricação de cordas. E devido à suas propriedades de toque, capacidade de absorção, sensação de resfriamento e brilho natural, o CL é visto como material nobre. Mais propriedades da fibra podem ser encontradas no quadro 2 (EPOYOGLU *et al.*, 2018; SAMANTA *et al.*, 2016).

Quadro 2 - Informações técnicas do linho.

Comprimento da fibra	Varia entre 6 e 65mm, mas normalmente em torno de 22mm.
Espessura	-20 μ m
Gravidade específica	1.54
Tenacidade	Mais forte que a fibra de algodão com ~ 55 cN tex ⁻¹ , e cerca de 20% mais forte quando molhado.
Alongamento na ruptura	O CL não é muito extenso e estica apenas 1.8%
Recuperação elástica	Tem a capacidade de se recuperar quase completamente do alongamento aplicado.
Resiliência	Boa.
Capacidade de absorção	12% - Mais absorvente que a fibra de algodão.
Reação ao calor	Como a fibra de algodão, o linho não possui ponto de fusão, é resistente ao calor, mas pode amarelar no encontro com ferro de passar em alta temperatura. Sua queima acontece de maneira instantânea e cheira a papel queimado.
Luz solar	A fibra de CL perde gradativamente sua tenacidade quando exposto à luz solar.
Lavabilidade	Como o algodão, o CL pode ser lavado, fervido, lavado à seco e secado na máquina. Seca lentamente e amassa com facilidade.

Fonte: EPOYOGLU, 2018; SAMANTHA, 2016. Traduzido e modificado pela autora.

A produção de têxteis tradicionais e de moda sustentável acaba necessitando que as matérias-primas, reagentes químicos e a cadeia de valor do produto sejam sustentáveis em termos de consumo energético, de água, custo, fibra e biodegradabilidade. Devido a isso, no presente trabalho o linho foi escolhido como tecido a ser modificado, por ser a fibra de menor impacto ambiental (SALCEDO, 2014) nas operações têxteis presentes para manipulação da matéria-prima.

Obtenção da fibra

O processo de obtenção da fibra em estudo, proveniente dos caules, é razoavelmente longo, mas com pouca ou nenhuma complexidade em termos químicos. O linho é cercado por um tecido celular, ceras e pectinas, que se ligam ao centro do caule, conferindo sua resistência mecânica. Para obtenção das fibras, é necessário remover a matéria existente entre o caule lenhoso e casca filamentososa por fermentação, processo denominado de maceração. Existem diferentes formas de realizar o amolecimento do caule, mas cada um atinge ligeiramente propriedades diferentes de linho, sendo eles (EYPOGLU *et al.*, 2018; PEZZOLO, 2013):

- I. Maceração por orvalho: método amplamente utilizado em que as hastes são espalhadas no solo entre 3 a 12 semanas, e durante esse período com ajuda de umidade do orvalho à noite e o calor do sol durante o dia, as bactérias dissolvem os tecidos celulares por ações enzimáticas;
- II. Maceração por barragem: envolve no empilhamento dos caules em represas, lagos ou pântanos para amolecimento da matéria-prima;
- III. Maceração por corrente contínua: os caules são colocados em um fluxo lento e contínuo;
- IV. Maceração química: os caules são tratados com reagentes químicos, como álcalis diluídos, sabões e até ácidos diluídos. Seu uso aumenta o custo na produção e não justifica como despesa por pouco melhoramento na qualidade do material.

Após o descanso e amolecimento da matéria-prima, entra no processo de trilhamento, onde os caules são secos e então as partes lenhosas (essencialmente palha) são

removidos pelos processos mecânicos de quebra e separação, obtendo-se as mechas de fibras (EYPOGLU *et al.*, 2018).

Fiação

Em seguida, a matéria prima separada para tecelagem é penteada para alongamento da fibra, eliminação das impurezas ainda presentes e separação entre fibras longas e curtas. As de maior comprimento são destinadas à indústria têxtil (fiação e tecelagem), as mais finas em termos de diâmetro e utilizadas para itens de maior qualidade. As curtas, ou estopas, são utilizadas também para a indústria têxtil, para fiação de fibras mistas, transformadas em cordas etc. (EYPOGLU *et al.*, 2018; PEZZOLO, 2013).

Em seguida, para o processo de fiação, existem técnicas diferentes devido ao comprimento das fibras. Para as longas, elas são unificadas em mechas e elas inicialmente são penteadas e em seguida embebidas em solução alcalina entre 65-90 °C para amolecimento das gomas naturais para evitar rompimento da fibra durante o processo, devido à baixa elasticidade do material. Já as curtas, são fiadas à seco, sem alguma preocupação (SAMANTA *et al.*, 2016; PEZZOLO, 2013).

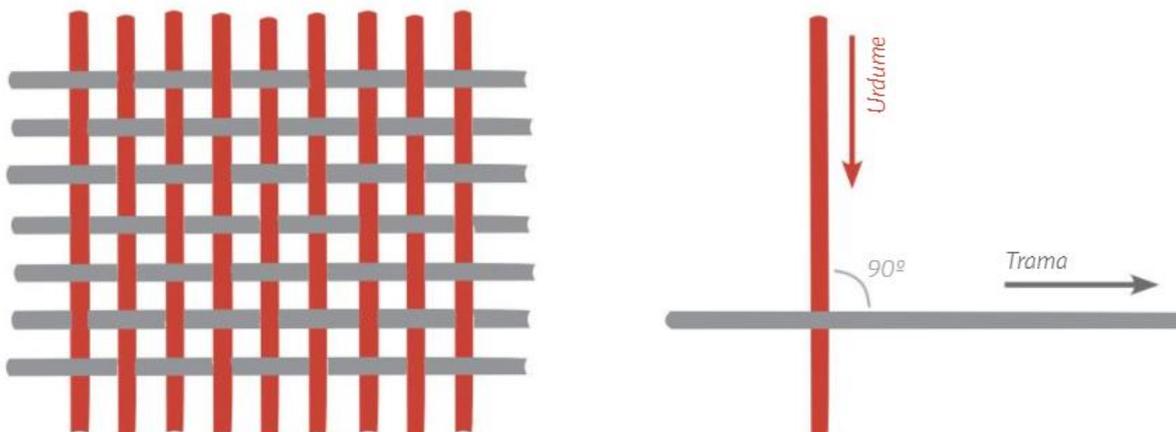
Por fim, os filamentos são preparados para tecelagem do material. Vale ressaltar que a partir dos resíduos provenientes da etapa de trilhamento, obtêm-se produtos derivados da fibra para tecelagem como óleos (aplicados em cosméticos, pinturas, tinta para impressão) e fibras (pasta para papel, painéis, papelaria), tendo o descarte 100% aproveitado e, dispõe de pouco ou nenhum agrotóxico para crescimento da planta. Por isso o tecido de CL é considerado um dos mais sustentáveis na indústria da moda, pois nada se perde (EPOYOGU *et al.*, 2018; SALCEDO, 2014; PEZZOLO, 2013).

Tecelagem

Existem em torno de cinco variedades de formação de tecidos no processamento têxtil, sendo eles, malha; laçada, especiais, não tecidos e planos (PEZZOLO, 2013). Para a proposta de dissertação, é necessária a descrição da última formação citada anteriormente, por ser a classificação das fibras naturais dentro do processo produtivo em estudo.

A definição de tecidos planos como um corpo de fios formados pelo cruzamento perpendicular entre os fios de urdume com os fios de trama (Fig. 6). Tem como características boa uniformidade, baixa elasticidade, estrutura com maior rigidez e ótima estabilidade dimensional (FIESP SENAI, 2018; LOPES *et al.*, 2010).

Figura 6 - Estruturação dos tecidos planos.



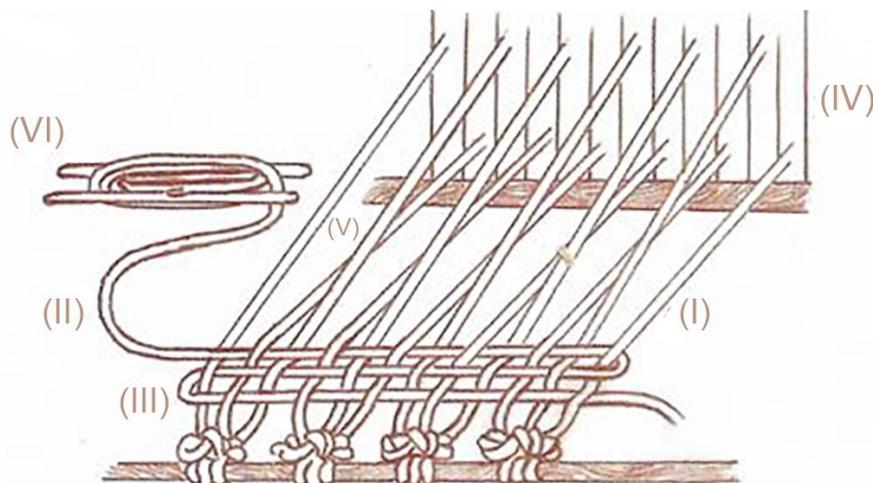
Fonte: SENAI MIX DESIGN, 2015.

O tear é a máquina que permite o entrelaçamento ordenar dois conjuntos de fios, os longitudinais e transversais (Fig. 8) (SENAI, 2015; PEZZOLO, 2013). Para o seu funcionamento, o objeto de tecelagem é composto por elementos essenciais, sendo eles (PEZZOLO, 2013):

- I. Urdume: fios dispostos no sentido longitudinal;
- II. Trama: fios dispostos no sentido transversal;
- III. Cala: abertura entre os fios ímpares e pares no urdume para passagem da trama;

- IV. Pente: peça que levanta e abaixa alternadamente os fios do urdume para promover a abertura da cala, permitindo a passagem da trama posteriormente.

Figura 7 - Componentes do tear (I- Urdume; II- Trama; III- Cala; IV- Pente).

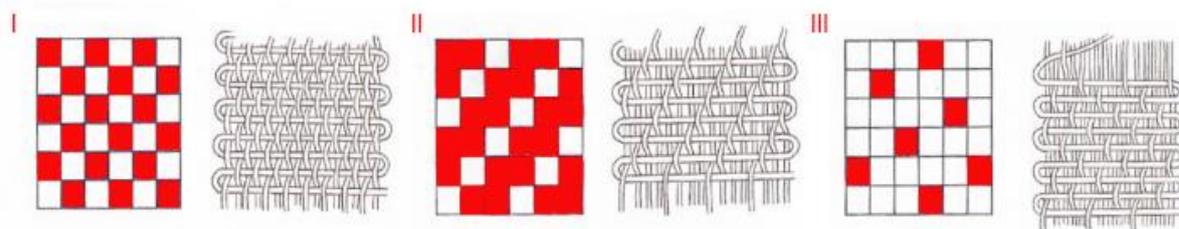


Fonte: Pezzolo, 2013 (modificado pela autora).

Essa maneira de transformar o fio em um corpo de tecido, seguem ordens básicas de cruzamento dos fios da trama com os de urdume, denominados de (PEZZOLO, 2013):

- I. Ligamento tafetá ou tela: possibilita o maior número de cruzamento entre fios de urdume e trama, produzindo um tecido com o mesmo aspecto nos seus dois lados (Fig.9-I);
- II. Ligamento sarja: formação de diagonais (estrias), formadas durante o cruzamento dos fios de urdume com fios de trama com deslocamento igual a "1", formando um ângulo de 45°. Seu lado direito acentua os fios longitudinais, enquanto o avesso apresenta os transversais em sua maioria (Fig. 9-II);
- III. Ligamento cetim: sua formação permite vários deslocamentos dentro de um único padrão. Para diferenciação do lado direito, apresenta um brilho e maciez inconfundível (lado urdume), e no seu avesso (lado trama) um aspecto completamente oposto, com toque áspero e ausência de brilho (Fig. 9-III).

Figura 8 - Ordem de cruzamento de tecidos planos (I- Tela ou tafetá; II- Sarja; III- Cetim).



Fonte: Pezzolo, 2013 (modificado pela autora).

Outras características dos cruzamentos de tecido plano podem ser encontradas no quadro 3:

Quadro 3 -Tipos de ligamentos do tecido.

Ligamentos fundamentais	Fios/cm	Estabilidade dimensional	Alongamento	Resistência	Ponto
I. Tela	Pouco	Rígido	Menor	Maior	Mais pontos de ligação
II. Sarja	Muito	Maleável	Maior	Menor	Menor que a tela, mais que o cetim
III. Cetim	Muito	Muito maleável	Maior	Menor	01 ponto de ligação por fio de urdume e trama

Fonte: SENAI MIX DESIGN, 2015.

Vale ressaltar que o item descrito teve o intuito de classificar e nomear as etapas de classificação de um tecido produzido fibras naturais, como o linho. Cada especificação possui suas respectivas variações que engloba todo o universo têxtil com as demais fibras naturais ou manufaturadas e seus respectivos processos. Para melhor compreensão do processo do CL representa as etapas da matéria prima, desde o seu cultivo até a formação do tecido (Fig. 9).

Figura 9 - Etapas do processo produtivo do tecido de Linho (CL).



Fonte: Flaxlinens, 2018 (modificado pela autora).

Beneficiamento têxtil

De acordo com SENAI (2016), o beneficiamento têxtil visa melhorar as propriedades físico-químicas do substrato, esteja ele como fibra, fio ou tecido. Segmenta-se em três etapas de beneficiamentos, respectivamente.

A responsabilidade do beneficiamento primário é de preparar o substrato têxtil para as etapas subsequentes, propiciando, condições de limpeza do substrato ao eliminar as graxas naturais quando as incorporadas durante o processo de tecimento (SENAI, 2015; PEZZOLO, 2013). Os principais processos e suas finalidades podem ser observados na quadro 4.

Quadro 4 - Processos e finalidades do beneficiamento primário.

Processo	Finalidade
Chamuscagem	Eliminar por queima as fibrilas que ficam na superfície externa dos fios e/ou tecidos.
Desengomagem	Retirada da goma encontrada nos tecidos planos, a partir dos fios singelos.
Purga	Retirar impurezas como gordura, cera, e óleo natural que impregnaram no substrato durante o tecimento.
Mercerização	Processo aplicado em fibras naturais celulósicas, que melhora seu brilho, aumenta a capacidade de absorção e maior intensidade de cor.

Caustificação	Semelhante à mercerização, porém é aplicado sem tensão sob o substrato e é mais econômico.
Alvejamento	Branqueamento aplicado ao substrato têxtil.

Fonte: SENAI, 2015.

Segundo Pezzolo (2013) e SENAI (2016), o beneficiamento secundário é o conjunto de operações realizadas para a coloração parcial (estampagem) ou total (tingimento) do substrato têxtil. O primeiro consiste no processo em colorir apenas uma parte da matéria prima ou até mesmo todas as partes, mas com variação de cor, e pode ser dividida entre três partes, a quadro, rotativa e termotransferência, respectivamente. Já a coloração total, visa em colorir o substrato de uma única vez, podendo ser feito com corantes ou pigmentos.

O beneficiamento final é uma etapa que visa modificar as características físico-químicas do substrato, podendo ser do tipo não permanente e permanente (SENAI, 2016). O primeiro não possui permanência prolongada sobre o tecido, não resistindo principalmente às lavagens. Já o segundo, resiste à todas solicitações de uso (lavagens e atritos, principalmente). Além disso, os tipos de acabamento são classificados entre químicos, físicos e físico-químicos. A proposta de dissertação vislumbra o beneficiamento final da fibra de CL em estudo do tipo químico.

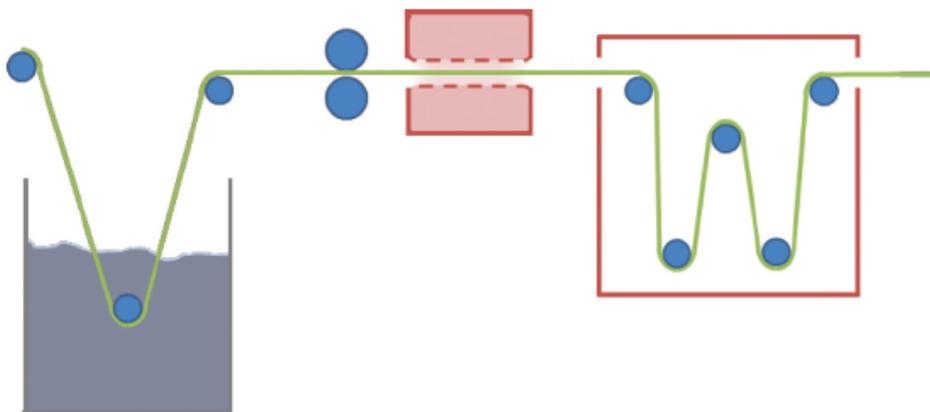
Acabamentos funcionais químicos integram-se à etapa de beneficiamento final permanente e refere-se a qualquer processo, após tingimento, que direciona no aproveitamento do tecido seja em sua aparência, toque ou performance, em tecidos planos, malhas ou não-tecidos. Normalmente, esses processos são aplicados na etapa citada anteriormente, mas pode ser executada nas fibras ou fios também (HEBDEN e GOSWAMI, 2018). Outras características encontradas em acabamentos funcionais químicos são (SENAI, 2016):

- I. Amaciamento: atribuir sensação de conforto no substrato a ser modificado;
- II. Encorpamento: aumentar a rigidez e o peso a fim de facilitar o substrato têxtil durante à etapa de corte na confecção;
- III. Antirruga: conservar à aparência do substrato após uso e lavagem;

- IV. Repelência à água e ao óleo: conferir aos artigos têxteis a capacidade de repelência à água e às manchas aquosas e oleosas, permitindo maior facilidade de limpeza e remoção das manchas;
- V. Antichama: tratar o substrato para incorporar propriedade antichamas;
- VI. Antimicrobiano: proteger o substrato de fungos e bactérias;
- VII. Antiesgaçamento: atribuir aspereza à substratos com estruturas extremamente lisas.

O equipamento usado para esse processo e obter uma aplicação uniforme do beneficiamento (quando reagentes) é denominada de *foulard*. Na literatura, o método mais utilizado no processo é o *pad-dry-cure* (Fig. 10), onde o substrato é inicialmente imerso na solução com os reagentes para o beneficiamento escolhido, em seguida passa pela secagem, termofixação, lavagem e secagem.

Figura 10 - *Pad-dry-cure*.



Fonte: Hebden e Goswami, 2018.

Epoyoglu *et al.* (2018) enfatiza o papel dos bio-acabamentos na indústria têxtil, pois apresentam substratos com desempenhos melhorados para acabamentos antimicrobianos, bloqueadores de UV, auto-limpantes etc., levando em consideração a demanda necessária do consumidor pela preocupação ambiental.

3.2.2 Quitosana

No presente cenário de conscientização ambiental, produtos naturais baseados em agentes bioativos, como é o caso da CH, têm ganhado popularidade devido à atividade protetora inerente contra um isolado número de bactérias e fungos (SHABBIR *et al.*, 2017).

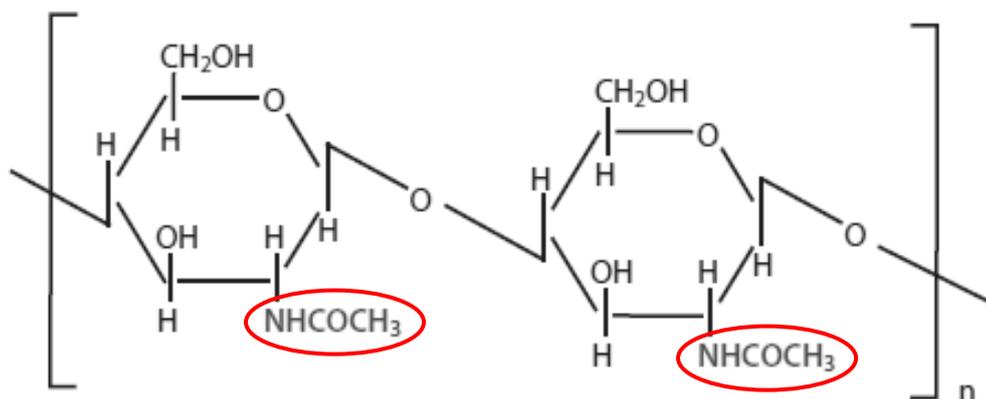
Os biomateriais encontram-se disponíveis em abundância a partir de fontes naturais e a sua sustentabilidade global é mantida através do seu uso sem o consumo de recursos ameaçados. Esses materiais têm como características serem não tóxicos, ambientalmente amigáveis, biodegradáveis, de manipulação fácil com nenhum ou menos problemas relacionados à saúde, em relação aos reagentes comumente utilizados (MUZAFFAR *et al.*, 2017; ROY *et al.*, 2017).

Nas duas últimas décadas, materiais naturais com propriedades antimicrobianas obtiveram maior preferência perante os agentes antimicrobianos sintéticos, devido aos efeitos colaterais adversos presentes. Com base em pesquisas feitas e relatadas, a quitosana tem sido utilizada e aceita como um biopolímero antimicrobiano, contra uma gama diversa de fungos patogênicos e de putrefação, e bactérias (Gram-positivas e Gram-negativas) (MUZAFFAR *et al.*, 2017; ROY *et al.*, 2017).

De fato, muita atenção tem sido dada à quitina, quitosana e aos seus oligômeros como materiais bioativos naturais, devido a sua não-toxicidade, biocompatibilidade e biodegradabilidade, por se degradarem após metabolização. Estes materiais têm importantes propriedades estruturais e funcionais que os tornam atrativos para uma grande variedade de aplicações em muitos campos, tais como beneficiamento têxtil, alimentos e nutrição biomedicina, biotecnologia, agricultura, veterinária e proteção ambiental (HABEEBA *et al.*, 2017; LARANJEIRA *et al.*, 2009).

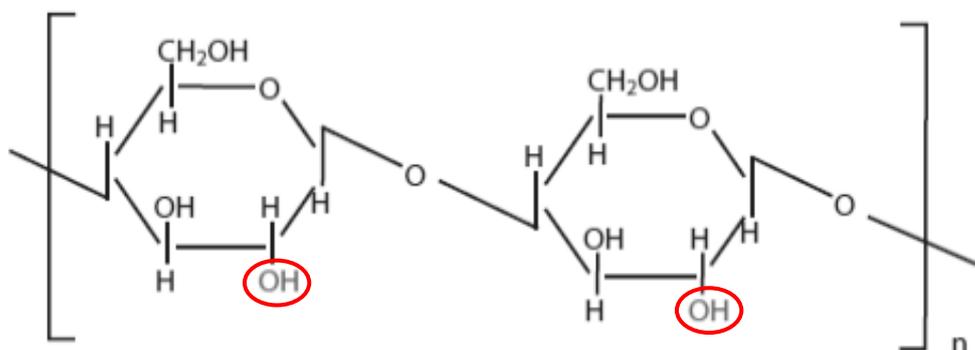
A quitina ($C_8H_{13}O_5N$)_n é um copolímero β-(1→4)-2-amino-2-desoxi-D-glicose e β-(1→4)-2-acetamida-2-desoxi-D-glicose, sendo o segundo biopolímero produzido por fontes naturais seguido da celulose, em termos de quantidade. Sua estrutura química (Fig. 11), se difere da celulose (Fig. 12), em que um grupo N-acetil (-NHCOCH₃) substituem o grupo hidroxila (OH), material altamente cristalino, com um comportamento específico do solvente. Como a quitina é N-acetil-D-glucosamina ligada a β-(1-4), portanto, sua solubilidade e reatividade são altamente influenciadas pelos grupos funcionais -NH₂ e -OH, que dão suporte principal para o fornecimento de polissacarídeos carregados positivamente após a solubilização. A quantidade de grupos reativos pode ser aumentada, sendo quantificada pelo grau de desacetilação (%DA), em que abaixo de 10% é possível encontrar encontra quitina e entre 60% e 90%, encontra-se em um novo composto que é denominado de quitosana (Fig. 13) que substitui também o grupo -OH da celulose. Vale ressaltar que a quitina é o único polissacarídeo carregado positivamente entre todos os outros biopolímero que ocorrem naturalmente, o que permite uma ampliação nas aplicações biológicas. (AHMED *et al.*, 2017; ROY *et al.*, 2017).

Figura 11 - Estrutura química da Quitina.



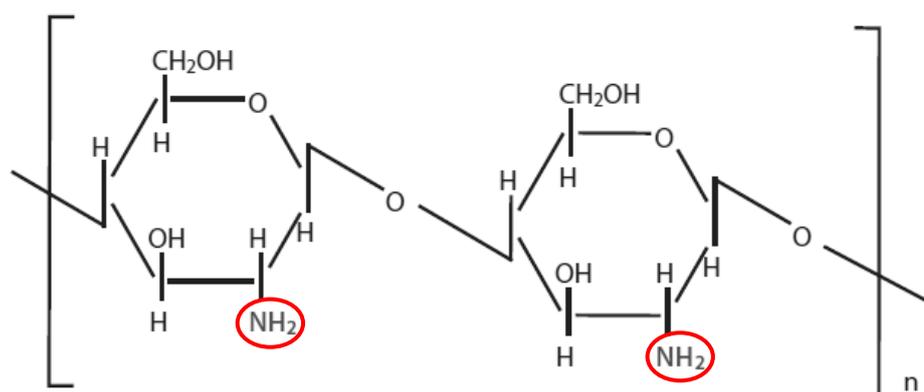
Fonte: AHMED *et al.*, 2017 (modificado pela autora).

Figura 12 - Estrutura química da Celulose.



Fonte: AHMED *et al.*, 2017 (modificado pela autora).

Figura 13 - Estrutura química da Quitosana.



Fonte: AHMED *et al.*, 2017 (modificado pela autora).

A maior fonte de quitina é encontrada em camarões, cutícula de insetos, caranguejo, *krill*⁶, lagostas, parede celular de cogumelos, algas e fungos e apresenta alto grau de cristalinidade e pureza devido à ausência de carbonato de cálcio, proteínas e pigmentação. Por ano, são produzidas 10¹⁰ T de quitina naturalmente e desse montante, 70% vem dos oceanos. Sendo assim, a quantidade do subproduto da indústria pesqueira é suficiente para suportar a grande demanda comercial de quitina e quitosana com potencial de fornecimento a longo prazo (ROY *et al.*, 2017; AHMED *et al.*, 2017).

⁶ *Krill*: pequenos crustáceos similares ao camarão. Traduzido pela autora.

A quitosana (CH) é derivada da quitina, que consiste em grupos N-acetil-glucosamina e unidades de glusamina distribuídas de maneira aleatória na cadeia linear do polissacarídeo. A natureza catiônica da quitosana pode tornar inativa uma grande variedade de bactérias e fungos, portanto, a quitosana é um agente antimicrobiano em potencial, entretanto ela perde a atividade antimicrobiana em condições alcalinas (VAN DEN BROEK *et al.*, 2015).

Na natureza, os grupos 100% acetilado e grupos amino desacetilados 100% livres são raros de existirem. Entretanto, menos de 10% de porcentagem de desacetilação (%DA) pode existir na estrutura da quitina, enquanto entre 40-98% DA é encontrado na CH. A massa molar média da quitina e quitosana vai depender do grau de desacetilação e grau de polimerização (HABEEBA *et al.*, 2017).

O comportamento físico-químico da quitina e quitosana são diferentes, mesmo apresentando similaridade em sua estrutura. Devido à presença do grupo acetamida, a quitina na maioria das vezes apresenta um comportamento inerte, enquanto os grupos amino livres da quitosana são altamente reativos. A diferença no comportamento físico-químico também é atribuída ao grau de cristalinidade, pois a quitosana é menos cristalina quando comparada à quitina. Além disso, existem poucos solventes que permitem a dissolução da quitina, enquanto a quitosana (dependendo do %DA e da massa molar) é insolúvel em água e na maioria dos solventes orgânicos, em compensação, dissolve em soluções aquosas de praticamente todos os ácidos carboxílicos (ROY *et al.*, 2017; VAN DEN BROEK *et al.*, 2015).

A quitosana adquire cargas positivas na presença do ácido devido à protonação⁷ dos grupos amino livres. Dissolve com pH abaixo de 6,3, embora em concentrações >2% as soluções se tornem muito viscosas. Acima desse valor, mais de 50% das moléculas

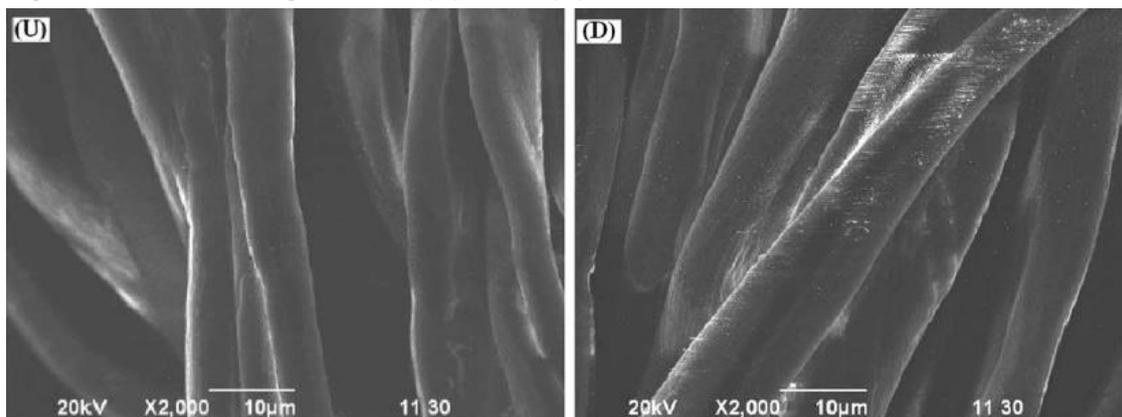
⁷ Reação química que ocorre quando um próton se liga a um átomo, molécula ou íon, formando como produto desta reação um ácido conjugado do reagente inicial.

de quitosana perdem suas cargas positivas e se tornam insolúveis (ROY *et al.*, 2017; VAN DEN BROEK *et al.*, 2015).

Habeeba (2017) em seu estudo avaliou as zonas de inibição das amostras de algodão e látex contra bactérias gram-negativas *Escherichia coli* (*E. coli*) e gram-positivas *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*), obtidas por difusão de ágar, que ficaram incubadas por 24h à 37°C. O autor discorre que à medida que a concentração de CH é aumentada, maiores são suas zonas de inibição entre as bactérias gram-positivas e gram-negativas. Isso ocorre graças à interação eletrostática entre as superfícies microbianas eletronegativas e a CH carregada positivamente, levando à ruptura da parede celular das bactérias gram-positivas e gram-negativas.

Bhuiyan *et al.* (2017) apresentam o efeito da CH na morfologia da fibra tratada e não tratada em fotografias do MEV (Fig. 14). Onde a superfície de (D), que é tratada, é um pouco mais áspera em comparação à (U), não tratada, comprovando a incorporação da CH na fibra.

Figura 14 - Fibras de algodão sem (U) e com (D) tratamento de CH



Fonte: Bhuiyan, *et al.* (2017).

3.2.2.1 Quitosana no processamento têxtil

Devido as propriedades estruturais e funcionais, o biopolímero em estudo se torna atrativo em aplicações tecnológicas e processos têxteis, um campo de pesquisa muito

atraente, que tem sido corroborado pelo grande número de publicações científicas e patentes. Além de possibilitar a aplicação do biopolímero em diferentes etapas do processamento, desde a tecelagem até acabamento multifuncional das fibras têxteis (ROY *et al.*, 2017; HABEEBA *et al.*, 2017; LARANJEIRA *et al.*, 2009).

3.2.2.2 Operações têxteis que envolvem a Quitosana

De acordo com a literatura, a CH entra desempenhando diferentes papéis dentro das etapas operacionais têxteis existentes, variando sua utilização dentro do processo (ROY *et al.*, 2017). A seguir, será apresentado as aplicações da CH como agente *sizing* e *desizing*; auxiliador no processo de tingimento e agente aglutinante no processo de impressão, respectivamente.

Quitosana como agente de engomagem e desengomagem

Como já citado anteriormente no item 3.2, a etapa de pré-tratamento denominada de engomagem (*sizing*) serve para aumentar a resistência da fibra em uso para não ocasionar a ruptura da mesma durante o processo de fiação. E o processo de desengomagem (*desizing*) serve para a remoção do agente fortalecedor para preparação do tecido tramado para as etapas de tratamento.

Segundo Stegmaier *et al.* (2008), pela primeira vez o agente de reforço para a etapa de fiação pode ser desenvolvido de maneira inovadora para produtos com funcionalidade têxtil. No caso da aplicação da CH, o agente pode permanecer na fibra para incorporar propriedades como comportamento bacteriostático, fungicida, cicatrização de feridas e controle de umidade.

Hebeish *et al.* (2006) considera que a eficácia do processo depende da adesão entre o substrato e o agente *sizing*. Em seu estudo, os autores propuseram uma investigação sobre as condições que influenciam a hidrólise (engomagem) e a carboximetilação (desengomagem) da CH quando solubilizada em ácido clorídrico

(HCl) e ácido monocloroacético, respectivamente. O objetivo é avaliar a porcentagem de colagem e remoção do biopolímero quando aplicado em tecido de algodão. Os autores alegam uma eficiência entre 81% a 95% para remoção da CH e para obter esse resultado, aumentaram a concentração do agente de colagem de 5% para 15%. Conseqüentemente a eficiência dos dois processos foi aumentada a partir de um reagente natural.

Quitosana como agente auxiliar no processo de tingimento

O processo de tingimento é um importante passo no processamento de tecidos, especialmente para as empresas no desenvolvimento de produtos têxteis para seu consumidor final. Os tecidos podem ser processados utilizando diferentes tipos reagentes funcionais (corante de enxofre, tintura de cuba, corantes reativos, etc.) e métodos de tingimentos (tela rotativa, em que todos eles requerem alta energia, grande quantidade de água e sais minerais para que as partículas de tingimento distribuam e difusa uniformemente) (ROY *et al.*, 2017).

O uso da CH é benéfico no processo de tingimento por reduzir a quantidade de matéria prima necessária para o tratamento, e além disso, não necessita de nenhum sal na sua composição. Como resultado, um simples tratamento de efluente bastaria para diminuir a contaminação causada pelo processo, quando comparado aos processos citados anteriormente, os quais lançam nos efluentes uma complexa quantidade de reagentes químicos nocivos (BUIYAN *et al.*, 2014).

Wang *et al.* (2017) desenvolvem uma combinação entre polietilenoglicol com soluções de CH, silano e poli (ácido láctico) em um tratamento por plasma para tingimento para determinar qual modificação de superfície aumenta a eficiência de tingimento. Por aumentar o número de grupos -OH na CH devido à sua dissolução no poli (ácido láctico), ocorreu um aumento nas ligações hidrofílicas da CH nas cadeias hidrofóbicas de poli (ácido láctico), sem romperem. Além disso, o polietilenoglicol com melhor

resultado de tingimento foi o 8000, por apresentar o melhor grau de tingimento na coloração vermelha.

Quitosana como agente aglutinante no processo de impressão

No processo fabril de impressão, é necessário um corante ou pigmento para agir como agente aglutinante e espessante, respectivamente. A principal função do primeiro é manter uma viscosidade estável para promover uma adesão estável entre o aglutinante e a superfície têxtil, formando um filme que conecte as moléculas do corante ou pigmento em uso (ROY *et al.*, 2017).

Bahmani *et al.* (2000) trazem como exemplo da literatura a quitosana como aglutinante para executar as etapas do processo em estudo. Nessa pesquisa CH foi aplicado como reagente na impressão em tecido misto de poliéster/algodão. O estudo apresenta que o sistema CH, ácido acético e pigmentos trouxe resultados satisfatórios na solidez da cor; fricção e lavagem. Por outro lado, resultou em baixo valor de intensidade de cor e baixa rigidez das fibras.

Os processos apresentados fazem parte das etapas convencionais na indústria têxtil, mostrando que o biopolímero em estudo pode atuar além dos acabamentos funcionais em tecidos.

3.2.2.3 Quitosana como acabamento têxtil

Dentro da literatura, encontrou-se uma lista de processos de acabamentos funcionais para têxteis onde a CH atua para diferentes finalidades, sendo nos procedimentos de antiamarrotamento; antiestático; retardante de chamas e fogo; repelente de água; bloqueador UV e agente antimicrobiano, respectivamente (ROY *et al.*, 2017).

Agente de acabamento antiamarrotamento

As fibras celulósicas têm a facilidade de amarrotamento devido ao estresse causado por agentes externos pela formação de ligação de hidrogênio, deteriorando, portanto,

sua aparência. Na literatura, há diferentes abordagens para prevenir esse tipo de estresse da matéria prima, sendo uma delas o uso de CH (DHIMAN *et al.*, 2017).

Arik *et al.* (2017) apresentam um estudo sobre o melhoramento da resistência de amarrotamento a partir da CH, 1,2,3,4-butanotetracarboxílico (BTCA) e Hipofosfito de sódio (SHP) para avaliar o efeito desse tratamento a partir das propriedades físicas do tecido.⁷

Dentro das amostras realizadas, a melhor combinação para melhoramento de acabamento funcional foi a formulação de 1% CH + 6% BTCA + 4% SHP, responsável pelo aumento de 15% de melhoramento no amarrotamento medidos pelo ângulo total de recuperação de rugas e perda de resistência esperada quando comparada ao tecido plano sem especificação têxtil. Além disso, a amostra com o beneficiamento de apenas CH, não apresentou nenhum resultado proveitoso perante a proposta do estudo (ARIK *et al.*, 2017).

Agente de acabamento antiestático

Como já foi explicado anteriormente, os compostos químicos antiestáticos influenciam a propensão de acumular cargas estáticas que podem abortar a produção de cargas eletrostáticas ou aumentar a condutividade elétrica ou por ambos os mecanismos. A CH age como um bom agente de acabamento antiestático na superfície têxtil devido ao seu alto teor de umidade, pois por ter a capacidade de absorção significativa de água da atmosfera após a exposição ao ambiente úmido, resultando no aumento da condutividade elétrica após a menor propensão a produzir cargas estáticas (ROY *et al.*, 2017).

Abdel-Halim *et al.* (2010) apresenta como referência da literatura um estudo comparativo entre CH e monoclorotriazina-ciclodextrina (MCT-CD), seu impacto nas propriedades antiestáticas e como as propriedades mecânicas foram afetadas com isso, respectivamente, em tecidos de poliéster e algodão/poliéster a partir do método

de *pad-dry-cure* para aplicar os compósitos poliméricos na superfície em estudo, enquanto para a fixação da CH ocorreu por crosslinking e pelo mecanismo de esterificação graças à presença do BTCA e o hidrofosfato de sódio como catalisadores e o outro somente pelo mecanismo de esterificação. A presença de água na matéria prima sintética em estudo aumentou a condutividade elétrica e também melhorou suas propriedades antiestáticas.

Agente de acabamento retardante de chama

Pôr a CH ser um polissacarídeo que contém nitrogênio em sua estrutura além de ambientalmente atóxico, fornece uma propriedade formadora de carvão quando usada com aditivos ligados aos grupos hidroxila e amino no seu esqueleto molecular. Além disso, funciona como agente de expansão ao liberar o nitrogênio como resultado da quebra molecular, fornecendo uma potencial ligação nitrogênio-fósforo a ser estabelecida para retardadores de chama (ROY *et al.*, 2017)

Rehan *et al.* (2018) promovem a fabricação de um revestimento retardante de chamas com CH e argila em fibras de algodão a partir do método de camada por camada (LbL). As amostras de algodão tratadas com o nanocompósitos de CH/Ag/Argila apresentaram boa aderência depois da sua ligação cruzada com 1-4 ácido butanotetra-carboxílico. Além disso, o valor de rendimento de carvão e índice de oxigênio limitado é diminuído, resultando em uma boa condição como retardante de chamas em têxteis.

Pan e Zhao (2018) usam os reagentes com funcionalidade ser retardante de chamas o ácido fítico (PA), CH e uma matriz de fibra de algodão definida como fonte de carbono. Ademais, também foi adicionada a resina de sulfonado de melamina-formaldeído sintetizada como agente do processo de formação de espuma e o composto polimérico foi combinado a partir do método de camada por camada de automontagem.

A pesquisa tenta promover uma metodologia mais acessível para alcançar a funcionalidade de retardante de chamas a partir do método citado. As amostras que passaram pelo beneficiamento em estudo, apresentaram uma estabilidade térmica entre 400 e 700 °C, além disso, os resíduos de carvão gerados pela degradação do material tiveram uma melhora de 25.9% e 32% em peso, quando comparada à amostra de algodão puro (PAN e ZHAO, 2018).

Agente de acabamento hidrofóbico

Propriedades superhidrofóbicas são implementadas em tecidos a partir do balanço adequado da rugosidade na superfície e química balanceada para uma gama de aplicações como separação água/óleo, auto limpante etc. No caso da utilização de CH como agente de acabamentos hidrofóbicos, o grau de desacetilação e polimerização afeta a solubilidade e hidrofobicidade devido à quantidade de grupos aminos na sua composição (INANOVA *et al.*, 2013).

Xu *et al.* (2018) trazem em seu estudo a aplicação de CH para estabilidade de têxteis de algodão com propriedade superhidrofóbicas. Primeiro, os autores revestem o tecido de algodão para introduzir os grupos aminos na superfície da fibra. Paralelamente, epóxi e sílica funcionalizada com grupos amino são sintetizados para obtenção de estruturas nanoporosas. Em seguida, o 1H, 1H, 2H, 2H-perfluorooctiltrimetoxisilano (PFOTMS) modificado foi aplicado no tecido para diminuir sua energia de superfície e por consequência obter o tecido com a funcionalidade pretendida.

Agente de acabamento bloqueador UV

Devido aos seus grupos amino e carboxila, a CH possui habilidade para formar complexos metálicos com facilidade. Uma alternativa de aplicação desses compósitos é a funcionalização de têxteis para bloqueio de raios UV. Vale a pena ressaltar que a radiação UV também é uma das maiores causas de degradação dos tecidos, por causa de foto-oxidação (GOUDA e KESHK, 2010).

AbdElhady (2012) propõe a aplicação de um complexo de CH+Zinco para aplicação em tecidos de algodão para incorporar as propriedades de proteção UV e antibacterianas. A melhor concentração para o zinco foi de 0.75% usando a temperatura de 60 °C para formação de nanopartículas e então realizar o revestimento. O estudo tem potencial para aplicação nas áreas médicas, militar, biológica e optoeletrônica e apresentou uma metodologia laboratorial simples para reprodução em maior escala.

Agente de acabamento antimicrobiano

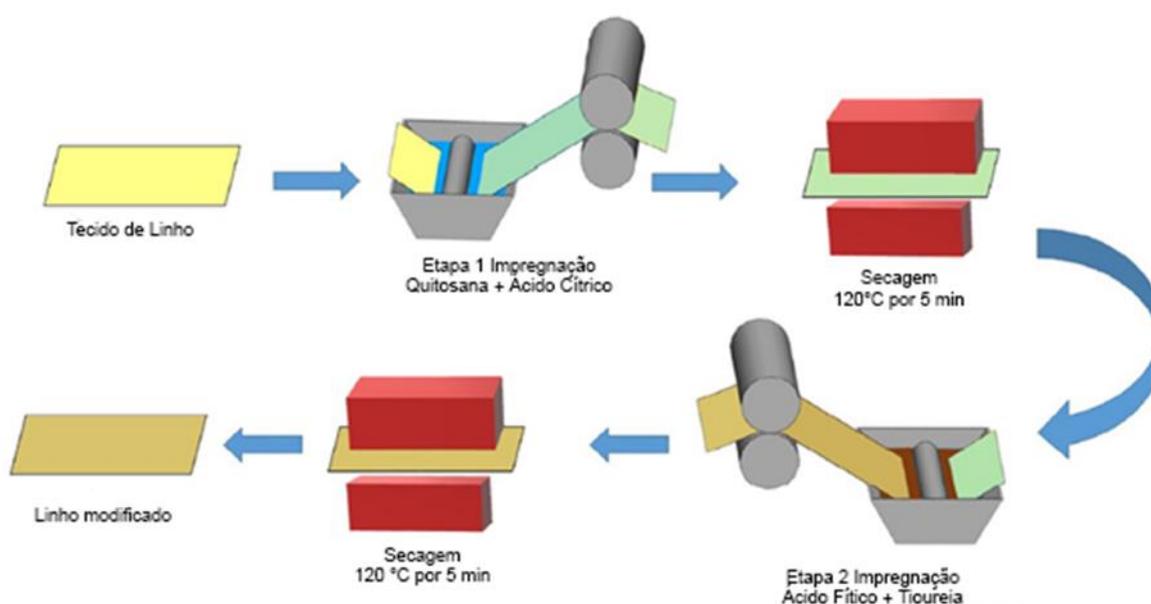
Segundo Roy *et al.* (2017), novas contribuições para o desenvolvimento de melhoria na eficácia da CH em aplicações têxteis são praticadas. Uma inovação nesse campo envolve a produção de nanopartículas de CH. Com isso há um aumento dos sítios ativos disponíveis devido ao aumento da área superficial provocada pelo tamanho nanométrico.

Geralmente, o uso de apenas um agente antibacteriano apresenta limitações contra as bactérias gram positivas e gram negativas, incluindo uma grande gama de outros microrganismos. Sendo assim, uma atenção foi dada pelos pesquisadores na síntese de nanopartículas de Prata (Ag) e Cobre (Cu) para ampliar o espectro de microrganismos atingidos e aumentar a eficiência da ação antimicrobiana da CH (TAMAYO *et al.*, 2016).

Chattopadhyay e Inandar (2013), por exemplo, sintetizaram nanopartículas de CH e usaram sob forma de dispersão, juntamente com nanopartículas de prata, para recobrir tecido de algodão. Os autores observaram que a quitosana pode ser empregada como agente antibacteriano, no entanto o efeito é aprimorado com a redução do tamanho de partícula e acoplamento de um segundo agente antibacteriano, no caso nanopartículas de prata.

Sheikh e Brahmecha (2018) apresentam uma proposta de acabamento funcional no tecido de linho a partir de CH, ácido Cítrico (CA), PA e tioureia, reagentes que os autores consideraram seguros, a partir de um processo com duas etapas conforme (Fig. 15). A intenção dos autores é agregar propriedades multifuncionais como antiamarrotamento, antibacteriana, proteção UV, retardante de chamas e antioxidante, e conseqüentemente, a fixação dos reagentes na fibra foi explorada a partir do teste de lavagem, que durou até 20 vezes.

Figura 15 - Estágios de acabamento funcional do Linho (CL).



Fonte: Sheikh e Brahmecha, 2018 (traduzido pela autora).

Usando uma estratégia um pouco diferente, Mujtaba *et al.* (2017), extraíram nanocristais de celulose (NCCs) do linho para utilizar para reforço em filmes de quitosana. De acordo com esses autores, a incorporação dos NCCs aumentou significativamente a atividade antimicrobiana dos filmes compósitos de quitosana.

3.2.3 Quitosana solúvel em água (CHS)

Kahya (2018) aponta em seu artigo de revisão bibliográfica que no período de 1983 a 2017, o número de publicações relacionadas à pesquisa e aplicabilidade da quitosana

solúvel em água (CHS) aumentou consideravelmente, e que nos últimos 10 anos apresentou o dobro de artigos publicados em relação ao ano de 2007, tornando o objeto de estudo relevante. A intenção desses estudos em tornar a CH solúvel tem sido para ampliar a aplicabilidade do biopolímero, uma vez que ele pode passar a se dissolver em soluções aquosas em pH neutro e básico (KAHYA, 2018; MORYA, 2008; XIE *et al.*, 2007).

Para a obtenção da CH com esta característica citada, o material manipulado passa por uma síntese onde sua estrutura molecular é modificada pela adição de uma variedade de grupos funcionais com reagentes quimicamente apropriados (KAHYA, 2018).

Qin *et al.* (2006) prepararam amostras de CH com diferentes massas moleculares pela despolimerização com soluções de hemicelulose e ácido acético, separadamente. Suas amostras não apresentaram atividade antimicrobiana significativa contra *S. aureus*, *E. coli* e contra a levedura *C. albicans*, teve seu crescimento potencializado pelo biopolímero modificado após 48h. Os autores sugerem que a CHS não tem potencial para se tornar um agente antimicrobiano.

Xie *et al.* (2006) reportam um protocolo para sintetização da CH com Sal Quaternário de Amônio (QSA). Para isso, os autores trataram o hidroxietilamido de CH com cloridrato de cloroetilamina em solução de hidróxido de sódio na expectativa de melhorar a solubilidade e atividade antimicrobiana. Os resultados apresentados pelos autores mostram que com a redução da interação intermolecular, como as forças de Van der Waals, houve um aumento da solubilidade e da massa molecular. Além disso, a síntese também depende de um percentual maior de grupos de NH₂ para apresentar melhores resultados antimicrobianos.

Wang *et al.* (2015) enxertaram Sal Quaternário de Amônio (QSA) nos grupos livres - OH da CH e geraram cinco variações de quitosana solúvel em água com sal quaternário de amônio (CHS-QSA). Elas apresentaram boa solubilidade em água,

etanol, metanol, solução de 1% de ácido acético. Seus experimentos demonstraram ter boa capacidade antibacteriana com bactérias *gram-positivas*, porém um resultado não satisfatório com as *gram-negativas*. Os autores alegam que a proposta elaborada é uma estratégia efetiva para gerar novos tipos de CH antibacteriana com melhor solubilidade em água, propriedades antimicrobianas e baixa citotoxicidade.

Braber *et al.* (2017) sintetizaram a CH com média e baixa massa molecular por reação de Maillard⁸ com glucosamina. Dentro das condições laboratoriais dos autores, a CH modificada teve sua solubilidade aumentada em 6 vezes em relação ao polissacarídeo, além de apresentarem também uma massa molecular e grau de desacetilação ainda menores. A CHS desenvolvida de acordo com os autores apresentou resultados similares à CH nativa em torno de atividades antimicrobianas e antioxidantes também, porém com maior solubilidade em meio aquoso, potencializando sua aplicação.

Pela leitura de materiais da literatura, observou-se que apesar da solubilidade da CH ter aumentado, ela ainda carece de ser dissolvida em meio ácido para poder cationizar suas cargas positivas e ela ser efetiva como agente antimicrobiano. Observou-se que na literatura, além do biopolímero ter sido sintetizado, ele também é dividido quanto à aplicação, podendo atuar biologicamente como antioxidante, antimicrobiano e anticâncer (KAHYA, 2018).

Nota-se também que ao longo dos anos, a aplicabilidade da CHS e seus resultados foram aprimorando, comprovando mais uma vez a relevância do biopolímero como objeto de estudo (KAHYA, 2018).

⁸ Reação química onde o grupo carbonila (C=O) do carboidrato interage com o grupo amino (-NH₂) do aminoácido ou proteína, que reduz a solubilidade da proteína em estudo, no caso a quitosana.

3.4 Caracterizações dos materiais

Por tratarmos da manipulação de um biopolímero e conceber um composto polimérico, é importante a realização de testes e análises que identifiquem às propriedades intrínsecas dos materiais em estudo, para confirmação da hipótese proposta de dissertação em questão. As seguintes caracterizações estão em ordem de aplicação.

3.4.1 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

A espectroscopia é o estudo de interação da radiação eletromagnética com a matéria, onde obtêm-se o espectro vibracional completo da molécula. O Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) que utiliza o princípio de Michelson como funcionamento, é um procedimento de caracterização mais rápido, preciso, reproduzível e acessível quando comparado ao Espectrofotômetro dispersivo, aparelho e técnica de caracterização já em desuso. Quando o FTIR é aplicado, logra-se o espectro vibracional completo denominado de interferograma (interação da radiação eletromagnética com a matéria) e, a partir deste, a operação matemática de transformada de Fourier é realizada pelo computador, obtendo-se o espectro de infravermelho (IR) natural, sendo o perfil espectral de intensidade versus número de ondas. A partir dessas informações, realiza-se a identificação, determinação dos grupos funcionais e estrutura de macromoléculas, (KAWANO, 2007).

As moléculas apresentam vibrações normais, ou seja, possuem movimento vibracional definido. A frequência das vibrações normais depende “da natureza do movimento, massa dos átomos, geometria da molécula, natureza das ligações químicas e ambiente químico/físico” (KAWANO, 2007). As vibrações normais podem ser do tipo estiramento de ligação, deformação angular e torção e podem dar origem às bandas vibracionais fundamentais, cujo número de onda costuma aparecer na região espectral abaixo de 4000 cm^{-1} (COTRIM, 2015). O ATR (Refletância Total Atenuada) é um acessório utilizado acoplado ao aparelho de FTIR para “se obter espectros IR de boa qualidade de polímeros em forma de filme, folha plana, chapa

plana, líquido em solução”, em que a amostra deve estar em contato físico com a superfície do cristal (ZnSe, ZnS, KRS-5, Si, Ge ou safira) (KAWANO, 2007).

3.4.2 Ensaio de atividade antimicrobiana

A quitina e quitosana são materiais promissores para distintas aplicações, como em embalagens, materiais biomédicos, têxtil etc., devido às suas propriedades antimicrobianas e ser biocompartível (HABEEBA *et al*, 2017). Uma das maneiras de avaliar a capacidade antimicrobiana do biopolímero em estudo é colocando amostras em forma de disco circular com 10 mm de diâmetro recortadas dos filmes de quitosana sobre a placa de ágar após a aplicação do inóculo bacteriano com aproximadamente 1 a 2×10^8 UFC/mL. As placas são incubadas por 16 a 24 horas em ar ambiente ou a 5% de CO₂ a 35 ± 2 °C (dependendo do gênero bacteriano e do antimicrobiano testado) antes dos resultados serem determinados. Os diâmetros dos **halos de inibição** do crescimento bacteriano ao redor de cada disco são mensurados em milímetros. Desta maneira, as amostras serão categorizadas em sensíveis, resistentes ou intermediárias (AMERICAN ASSOCIATION FOR TEXTILES CHEMISTS AND COLORISTS⁹ - AATCC - 147, 2011).

3.4.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV).

O microscópio eletrônico de varredura é geralmente utilizado para observação de estruturas superficiais ou subsuperficiais de amostras com dimensões relativamente grandes. As imagens têm alta profundidade de foco, o que possibilita obter diferentes relevos da superfície da amostra (GONÇALVES, 2007).

Um aspecto importante na microscopia de varredura é o volume de interação da amostra, em que este relaciona o volume que o feixe interage ao incidir sobre um ponto na superfície em questão. Simulações Monte-Carlo, assim como experimentos

⁹ Associação Americana de Químicos Têxteis e Coloristas, traduzido pela autora.

diretos, mostram que os elétrons ficam espalhados dentro de regiões que possuem um formato de pera. Portanto, a resolução espacial é determinada pelo tamanho da região da amostra onde o sinal é concebido, dividida por três níveis:

- I. 1º nível: Elétrons secundários – possuem baixa energia, somente poderão escapar da amostra aqueles que forem gerados próximo à superfície;
- II. 2º nível: Elétrons retroespalhados – possuem alta energia, diferente dos elétrons secundários, são capazes de escapar e serem detectados mesmo quando produzidos de profundidades de 1µm ou mais. Além disso, essas imagens contêm informações sobre camadas mais profundas da amostra;
- III. 3º nível: Raios-X – seleciona-se o detector em uma energia particular de raios X, a imagem obtida mostra a variação espacial da concentração do elemento na região da amostra que está sendo analisada. Vale ressaltar que o uso deste não é adequado para caracterização de superfícies com gradiente de concentração.

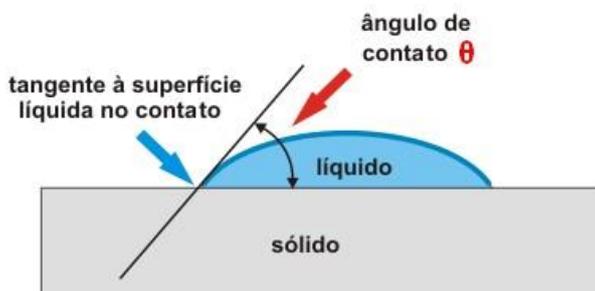
O MEV tem como principal usabilidade a produção de imagens tridimensionais em alta resolução, o que garante obter alta ampliação de detalhes da amostra em estudo sem perda de nitidez da figura, e corroborar a incorporação do biopolímero nas etiquetas de tecido (GONÇALVES, 2007).

3.4.4 Medidas de ângulo de contato

Quando uma gota de um líquido, mais comumente a água, repousa sobre uma superfície plana horizontal sólida, o ângulo de contato é medido no ponto em que a

interface líquido-vapor encontra a superfície sólida, traçando-se a tangente nesse ponto (fronteira trifásica) (Fig. 16) (VELICKOVA *et al*,2013).

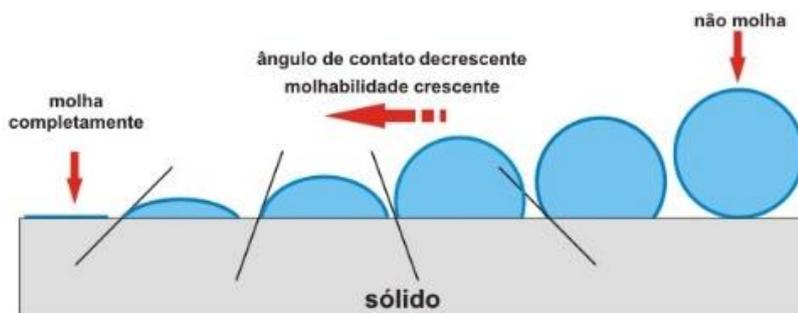
Figura 16 - Diagrama que mostra o ângulo de contato θ entre uma gota líquida e uma superfície plana horizontal.



Fonte: domínio público.

De modo geral, quanto maior o valor do ângulo de contato menor a molhabilidade da superfície até a situação em que o ângulo de contato se torna zero para superfícies que molham completamente (Fig. 17).

Figura 17 - Diagrama que mostra a relação do ângulo de contato θ com a molhabilidade da superfície.



Fonte: domínio público.

3.4.5 Ensaio mecânico de tração (EM)

Os materiais poliméricos são de suma importância e interesse científico e tecnológico, devido à requisitos e/ou exigências que essa matéria deve atender na maior parte de suas aplicações. Ao ser comparado com materiais de naturezas diferentes, como os metais e as cerâmicas, é possível perceber que os polímeros possuem resistência mecânica muito inferior. Isso se deve, principalmente, pela sua estrutura molecular, uma vez que os polímeros possuem ligações covalentes e interações de van der Walls, enquanto metais e cerâmicas possuem ligações primárias fortes, como ligação

metálica para os metais e ligações iônica e covalente para as cerâmicas (CANTO e PESSAN, 2007).

Os ensaios de sollicitação mecânica sob tração são obtidos através da aplicação de uma sollicitação uniaxial ao material sob condições controladas, em que ele vai se deformando a partir de uma velocidade constante aplicada, até ruptura do corpo de prova. O resultado desse ensaio leva a uma curva do tipo tensão versus deformação, em que a carga, a tensão e a deformação são registradas (CANTO e PESSAN, 2007).

Os valores de propriedades mecânicas, como, resistência à tensão, módulo de elasticidade, alongação, entre outros, servem de base durante uma pesquisa científica para comparação do desempenho mecânico dos diferentes materiais, assim como os efeitos decorrentes da modificação do polímero-base (reforços, cargas, aditivos, plastificantes) (CANTO e PESSAN, 2007).

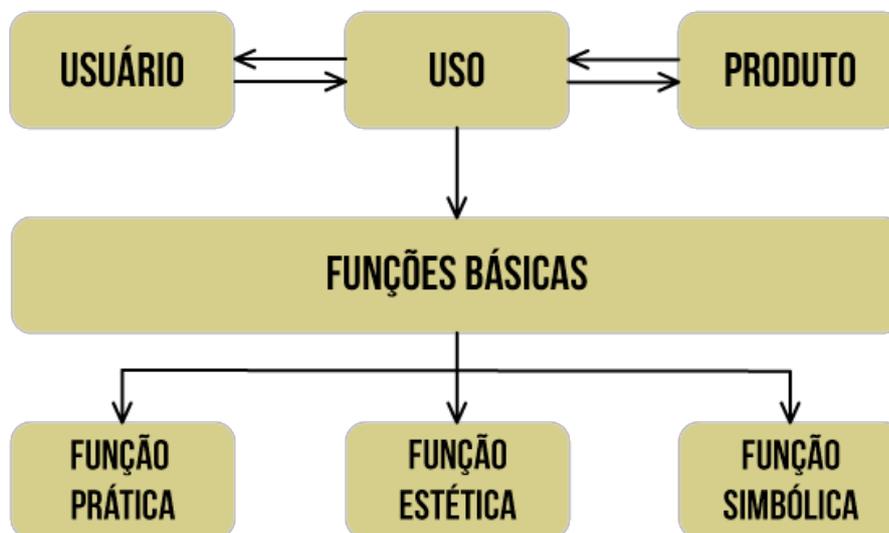
3.5 Projeto de desenvolvimento de produtos (PDP)

Bonfim (1995) afirma que a metodologia é a ciência que envolve estudos de métodos, técnicas ou ferramentas e suas respectivas aplicações para definir, organizar ou solucionar problemas, sejam de cunho teóricos ou práticos. A Metodologia de Design atua como disciplina da aplicação de métodos e ferramentas a problemas específicos e concretos no desenvolvimento projetual.

O método projetual de design, segundo Pazmino (2015) “envolve instrumentos de planejamento, coleta, análise e síntese, caracterização dos instrumentos materiais com o qual o designer trabalha”. Além disso, ele oficializa a exteriorização da linha de raciocínio realizada pelo profissional, conduzindo a soluções inovadoras a partir de técnicas específicas para apoiar ao pensamento criativo.

Dentro dos critérios dispostos, na literatura encontra-se a classificação das funções do produto (LÖBACH, 2001), onde se estabelece a comunicação entre o homem e objeto (Fig. 18) (GOMES FILHO, 2006).

Figura 18 - Funções do objeto.



Fonte: Löbach, 2001 (modificado pela autora).

A função prática engloba as relações existentes entre o produto e o usuário, atribuindo suas funções práticas e aspectos fisiológicos de uso, estreitando a relação com as bases conceituais, técnicas e tecnológicas (GOMES FILHO, 2006; LÖBACH, 2001). Já a função estética, relaciona o produto e usuário à nível dos processos sensoriais, ou seja, a percepção sensorial durante seu uso (LÖBACH, 2001). E por fim, a função simbólica, onde a partir dos fundamentos estéticos-formais, o usuário associa ao seu repertório, experiências e sensações no produto (LÖBACH, 2001).

Pazmino (2015) também menciona que os projetos de produtos/serviços podem ser classificados pela complexidade e inovação. A primeira envolve as características funcionais, semânticas, fabricação, tecnologia, entre outras. E pode ser segmentada entre (PAZMINO, 2015):

- I. Baixa complexidade: quando o objeto é fabricado por um meio artesanal ou industrial, com poucas unidades, partes ou componentes em sua estrutura;
- II. Média complexidade: fabricado por meio industrial, com composição de mais unidades, partes ou componentes em sua conjuntura;
- III. Alta complexidade: objeto fabricado apenas pelo meio industrial em que sua configuração é formada por muitos componentes.

Vale ressaltar que o tipo de classificação pela complexidade agrega na segmentação do objeto dentro das funções práticas, estéticas e simbólicas (LÖBACH, 2001).

O segundo critério, de inovação, tramita pelo impacto de mudança que o objeto tem sobre produtos similares (PAZMINO, 2015). Dentre eles, há quatro tipos:

- I. Inovação radical: projetos com modificações significativas, onde o objeto aponta novas características físicas, conceituais e de percepção;
- II. Redesign: sem alterar a principal função do objeto, visa modificar e/ou aperfeiçoar produtos/serviços por meio da sua usabilidade, agregação de funções ou extensão do ciclo de vida;
- III. Reposicionamento: em nível estratégico, reposicionar o produto/serviço em outro patamar no mercado por meio de alterações no design, distribuição ou preço do objeto;
- IV. Projeto conceitual: uma nova proposta, porém por requisitos como custo, disponibilidade tecnológica, hábitos dos consumidores, entre outros, permanece como ideia.

Ashby e Johnson (2011) ressaltam que a dinâmica citada dentro do processo projetual envolve uma livre associação e combinação de informações para adquirir um conjunto de atributos desejados. Informações que podem ser provenientes de imagens visuais – objetos, fotografias, esboços e desenhos observados – ou mentais – armazenadas na memória e imaginação do designer, ou seja, um conjunto de referências e repertório daquele que projeta.

3.5.1 Projeto de produto aplicado à calçados

A concepção de um sapato exige conhecimentos prévios de quem o desenvolve, pois é composto por diferentes componentes, que em sua maioria, são fabricados de forma e fornecedores independentes, mas atuam em conjunto. Além disso, esse conhecimento de identificação das partes que compõe o objeto em estudo tem grande importância, principalmente no momento de apresentação de projetos a fábricas e desenvolvedores (CHOKLAT, 2012). Os componentes mais importantes de um calçado, segundo Choklat (2012) e Fashionary (2016) são:

- I. Laço de sapato: componente de fixação mais comum do sapato;
- II. Cabedal: todo as partes que estiverem acima da sola, composta por peças de molde que são costuradas juntas;
- III. Forro: revestimento que auxilia assegura as partes internas do cabedal no lugar, servindo de apoio. Além disso, é um acabamento interno do cabedal ao qual o calçado é reforçado e atua como reforço, absorção de umidade e conforto para o usuário;
- IV. Biqueira: parte de auxílio na manutenção da forma e da altura da extremidade frontal do sapato;
- V. Contraforte: peça de apoio do salto e para manter o calcanhar do pé no lugar;
- VI. Calcanheira: toda a superfície que toca a parte inferior do pé. A peça abraça tanto a palmilha quanto a entressola;
- VII. Alma: peça de ponte de apoio entre o salto e o metatarso do pé, conectada à placa da entressola;
- VIII. Palmilha: parte que oferece estrutura e forma à base do sapato, sua principal função é atrelar o cabedal ao solado. Peça composta pela entressola e alma;
- IX. Sola: parte do sapato que toca o chão;
- X. Salto: apoio elevado que é colado à sola na parte traseira do pé. Junto dele, há a capa do salto (ou talão), sendo uma pequena extremidade presente no objeto para ser trocada caso ocorra desgaste ou rasgadura.

Após traçar as delimitações e especificações projetuais, entra a etapa de confecção do calçado que consiste em (FASHIONARY, 2016; LIGER, 2015; CHOKLAT, 2012):

- I. **Fôrma:** a partir da definição do tipo de calçado a ser desenvolvido, a fôrma é um molde em formato de pé que simula a estrutura do corpo, peça fundamental na confecção de um sapato pois é utilizada em duas etapas do processo, na modelagem e montagem;
- II. **Modelagem:** Etapa de maior complexidade do processo, o trabalho do modelista é de desenvolver o molde a partir do desenho do calçado e de identificar e adaptar o modelo projetado, definindo a forma, materiais e componentes fundamentais para a construção do calçado;
- III. **Corte:** A etapa de corte tem a função de segmentar a matéria prima que irá compor o cabedal, sendo elas o cabedal, forro, couraça, contraforte e suador. Essa etapa também é considerada mais trabalhosa e custosa por demandar maior precisão do operador quando o processo é conduzido de forma manual a partir dos moldes adquiridos da etapa anterior, como é o caso deste projeto por estar sendo produzido apenas um par;
- IV. **Costura:** A partir dos componentes cortados da etapa anterior, a costura é a fase em que as partes da modelagem são costuradas entre si, a partir das máquinas de coluna, para a formação do cabedal;
- V. **Montagem e acabamento:** Etapa de união do cabedal com o solado na forma do sapato. A finalização se inicia com a fixação da sola de montagem na forma, para melhor aderência e conformação do cabedal na sola, fixada de forma manual. Depois, passasse uma cola para conformação do cabedal na sola de montagem e pôr fim a sola é colada no conjunto e pressionada com um sargento para maior adesão da cola.

Enfim, obtendo-se o calçado em modelo físico, denominado de peça piloto e/ou protótipo. É importante ressaltar que o desenvolvimento de um projeto de calçados ele vai depender inicialmente da categoria definida dentro do setor calçadista, uma vez que a quantidade de componentes existentes no modelo do calçado vai variar com isso.

4 METODOLOGIA

A partir do levantamento bibliográfico anterior, foi possível a elaboração de métodos e protocolos de pesquisa e ensaios laboratoriais para o desdobramento desta pesquisa ao gerar um material relevante no desenvolvimento científico do design aplicado ao estudo de materiais no Brasil.

4.1 Campos da pesquisa

O quadro 5 traz resumidamente os autores aplicados em cada campo de pesquisa no desenvolvimento científico em questão. A partir das áreas descritas, vale evidenciar que a presente pesquisa teve por finalidade a utilização do método fenomenológico – pela descrição direta da experiência como ela é - e nos resultados de outras pesquisas voltada à temática - para confirmar se sua demonstração quando inserida se confirma para possível aplicabilidade da matéria prima no desenvolvimento projetual de um produto, o calçado (GIL, 2002).

Quadro 5 - Resumo bibliográfico

Item	Autores (em ordem cronológica)
Sustentabilidade e moda	WCED (1987), Slater (2003), Heskett (2005), Bhamra e Lofthouse (2007), Sorger e Udale, (2009), Ashby e Johnson (2011), Fletcher e Grose (2012), Fletcher (2014), Salcedo (2014), Brooks (2015), Carvalhal (2016)
Design e materiais	Mano e Mendes (1999), Bahmani <i>et al.</i> (2000), Hebeish <i>et al.</i> (2006), Qin <i>et al.</i> (2006), Xie <i>et al.</i> (2007), Morya (2008), Stegmaier <i>et al.</i> (2008), ABDI (2009), Amaral (2009), Callister Jr (2009), Laranjeira <i>et al.</i> (2009), Abdel Halim <i>et al.</i> (2010), Gouda e Keshk (2010), Lopes <i>et al.</i> (2010), Ashby e Johnson (2011), Abdelhady (2012), Heskett (2012), Chattopadhyay e Inadar (2013), Inanova <i>et al.</i> (2013), Pezzolo (2013), Salcedo (2014), SENAI (2015), Van den Broek <i>et al.</i> (2015), WDO (2015), Cardoso (2016), Samanta <i>et al.</i> (2016), SENAI (2016), Tamayo <i>et al.</i> (2016), Wilkes <i>et al.</i> (2016), Ahmed <i>et al.</i> (2017), Arik <i>et al.</i> (2017), Braber <i>et al.</i> (2017), Bhuiyan <i>et al.</i> (2017), Dhiman <i>et al.</i> (2017), Habeeba <i>et al.</i> (2017), Mujtaba <i>et al.</i> (2017), Muzaffar <i>et al.</i> (2017), Moattari (2017), Roy <i>et al.</i> (2017), Wang <i>et al.</i> (2017), Andreeben e Steinbuechez (2018), Epoyoglu <i>et al.</i> (2018), FIESP SENAI (2018), Hebden e Goswami (2018), Kahya (2018), Rehan (2018), Sheikh e Brahmecha (2018), Pagnan (2018), Pan e Zhao (2018), Xu <i>et al.</i> (2018)
Caracterizações dos materiais	Canto e Pessan (2003), Gonçalves (2007), Kawano (2007), Velickova (2013), Cotrim (2015), Habeeba <i>et al.</i> (2017)
Projeto de desenvolvimento de produtos (PDP)	Bonfim (1999), Baxter (2000), Löbach (2001), Gomes Filho (2006), De Moraes (2010), Choklat (2012), Liger (2015), Pazmino (2015), Fashionary (2016)

Fonte: elaborado pela autora (2019).

4.2 Classificação da pesquisa

Este estudo refere-se (Fig. 19) a uma pesquisa aplicada de cunho quantitativo do tipo exploratório, na qual seus procedimentos técnicos tramitam entre pesquisa bibliográfica e experimental, a partir do levantamento de pesquisas já realizadas dentro do contexto inserido (quitosana como beneficiador antimicrobiano para têxtil) e suas análises quantitativas frente ao comportamento do material manipulado com sugestão de aplicação do material em um projeto de produto (SILVA e MENEZES, 2005; GIL, 2002).

Figura 19 - Classificação da pesquisa.



Fonte: elaborado pela autora (2019).

4.3 A pesquisa em etapas

A pesquisa se resume nas seguintes etapas (Fig. 20) de execução.

Figura 20 - A pesquisa em etapas



Fonte: elaborado pela autora (2019).

Etapa 1: Revisão bibliográfica

Objetivo da etapa: levantamento de informações em torno da relação entre o design e materiais, o processamento da fibra escolhida e pesquisas já realizadas abordando processos de preparação de revestimentos de quitosana aplicados em tecidos.

Indicadores: definição dos parâmetros, viabilização de protocolos laboratoriais para incorporação da solução polimérica no tecido estabelecido.

Etapa 2: Ensaio laboratoriais

Objetivo da etapa: manipular soluções de diferentes concentrações de quitosana solúvel em água para um estudo comparativo com quitosana de média massa molar.

Indicadores: obtenção das amostras do tecido incorporado com quitosana.

Etapa3: Caracterização

Objetivo da etapa: avaliar o comportamento físico-mecânico das amostras desenvolvidas na etapa anterior para averiguar o material quanto: I. Atividade antimicrobiana; II. Ângulo de contato; III. Espectrometria no infravermelho por transformada de Fourier; IV. Ensaio mecânico de tração; V. Microscopia eletrônica de varredura.

Indicadores: coleta de informações técnicas em torno do material manipulado quanto às suas propriedades químicas, mecânicas e capacidade antimicrobiana.

Etapa 4: Projeto de desenvolvimento do produto (PDP)

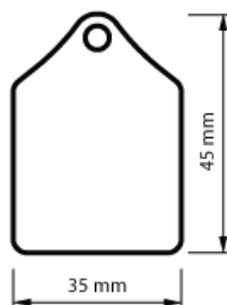
Objetivo da etapa: descrição e desenvolvimento projetual de um possível objeto para aplicação do material manipulado.

Indicadores: obtenção de um projeto de calçado que englobe o embasamento da pesquisa na aplicabilidade de um beneficiador têxtil de menor impacto ambiental.

4.3.1 Materiais e métodos

No procedimento foi utilizado o têxtil plano 100% linho (CL), gramatura de 200 g/m³, armação tela (Maximus Tecidos Finos) cujas amostras foram cortadas na máquina de corte à laser ECNC CH-5000 em formato de etiquetas (ECL) com tamanho de 35mm x 45mm (Fig. 21). As quitosanas utilizadas são comercialmente disponibilizadas (CH), sendo a de massa molar média (CHM) (Sigma Aldrich, cod. 448877) e quitosana solúvel em água (CHS) (Alfa Chemistry, cod. ACM9012764).

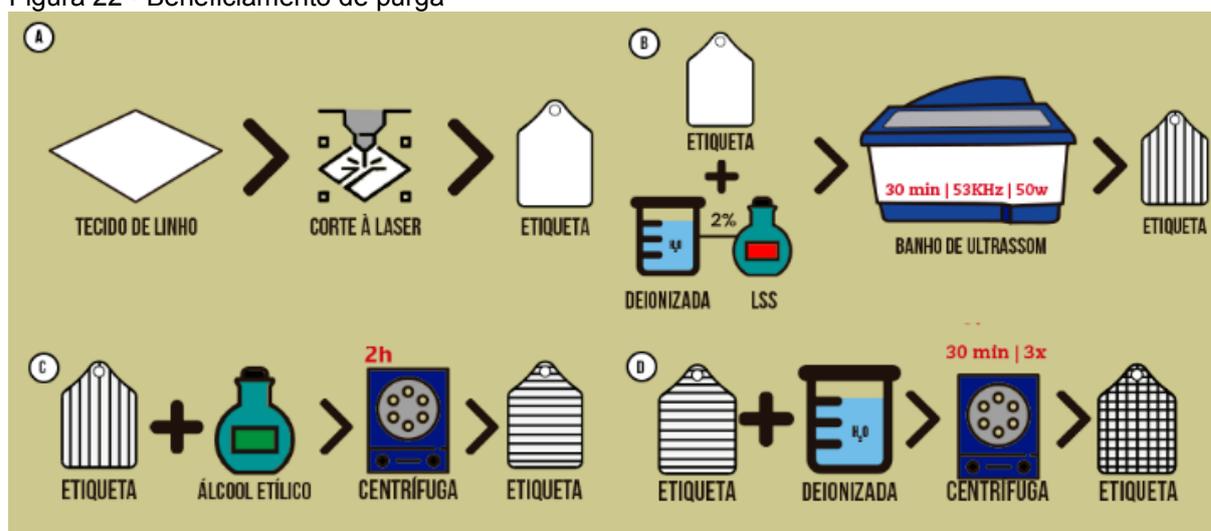
Figura 21 - Etiqueta



Fonte: elaborado pela autora, 2018.

O pré-tratamento de limpeza (Fig. 22) foi realizado com uma solução de 2% (mL/mL) de lauril sulfato de sódio (LSS) (Cógnis, Brasil), em banho de ultrassom (SoniTop – L402-A), com tanque de 2,5 L de capacidade, frequência de 53 KHz e potência de 30-50 W, por 30 min. Em sequência, as amostras foram centrifugadas (Benfer Série BF 19890) por 2h em etanol e posteriormente em água deionizada (30 min x 3 vezes) de acordo com o procedimento reportado por Xu *et al.*, 2018 e Thakore *et al.*, 2016.

Figura 22 - Beneficiamento de purga



Fonte: elaborado pela autora (2019).

Para comprovação da limpeza das amostras, foi realizada a pesagem na balança eletrônica digital Shimadzu ATX224 do substrato têxtil antes e depois do procedimento, sendo definido como amostragem 3 etiquetas para termos uma comparação de valores.

Em seguida, a adaptação do protocolo conta com um estudo comparativo entre CHS e CHM. Para isso, a ECL passa por um processo com duas etapas de beneficiamento, para avaliar o tratamento funcional do substrato após sua modificação (SHEIK e BRAMHECHA, 2018). A Tab. 1 apresenta os demais reagentes utilizados no protocolo estruturado, de acordo com Trindade *et al.* (2017), Habeeba *et al.* (2017) e Shahid-ul-Islam *et al.* (2018).

Quadro 6 - Lista de reagentes utilizados na rota para soluções

	Reagente	Fornecedor	Código
Rota	I. Ácido Acético (AA)	I. Lab Synth	I. 01A1019.01.BJ
	II. Borracha natural (BN)	II. DPL Borrachas	II. CCB1 clara
	III. Limoneno (LN)	III. General Iron Fittings	III. Não tem.

Fonte: elaborado pela autora (2019).

Primeiro é necessária a preparação das soluções usadas no beneficiamento do tecido, o qual envolve a diluição da BN (1 g) em LM (10 mL) – 0,9% de BN – por 24 h, formando sua solução (BNLM) para imobilizar a CH no CL dentro das etapas de beneficiamento, ou seja, aderir o biopolímero à fibra celulósica (HABEEBA *et al.*, 2017). Concomitantemente, com 50 mL da solução de AA (1%), a CH (1 g) é acrescentada lentamente e permanece sob agitação magnética por 24 h à 60 °C, formando sua respectiva solução (1%CHM). E com 50 mL de água deionizada, é colocado sob agitação magnética por 24 h à temperatura ambiente, 1g da CHS formando sua solução (1%CHS), com 2 g da CHS forma-se a solução de 2%CHS e 3 g da CHS, formou-se a solução de 3%CHS, concomitantemente também.

Para cada etiqueta, o procedimento contou com 2 etapas de beneficiamento. A primeira com o CL imerso por 1h na BNLM (5mL), em seguida ele é seco na estufa (Medicate/Modelo MD 1.1) por 5 min à 120°C. Depois, o mesmo substrato foi mergulhado novamente, agora na solução de CH (10mL), por 30min e secado na estufa por 5min à 120°C. Totalizando, portanto, 6 amostras do substrato têxtil modificado como demonstrado na Tab. 1.

Tabela 1 - Amostragem

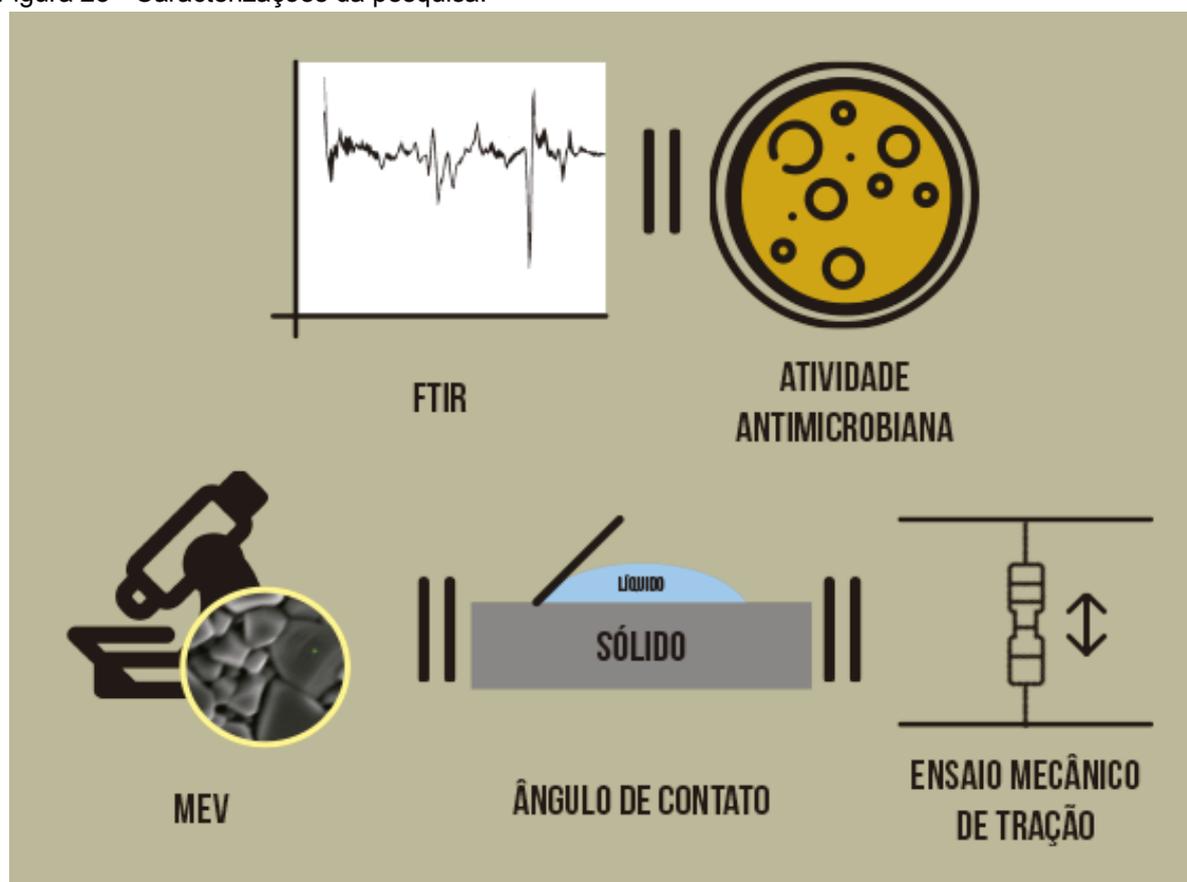
Amostra	Etapa 1	Etapa 2			
	BNLM	CHM	1%CHS	2%CHS	3%CHS
1 (controle)	-	-	-	-	-
2	x	-	-	-	-
3	x	x	-	-	-
4	x	-	x	-	-
5	x	-	-	x	-
6	x	-	-	-	x

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

4.3.2 Caracterizações

Devido à proposta de aplicação da matéria prima na pesquisa, realizou-se as avaliações quantitativas (Fig. 23), as amostras passaram pelo **FTIR** - para identificação e determinação dos grupos funcionais e estrutura de macromoléculas, para averiguar se a CHS possui seus respectivos grupos funcionais quanto à estrutura.

Figura 23 - Caracterizações da pesquisa.



Fonte: elaborado pela autora (2019).

Em seguida, **uma avaliação de atividade microbiana** - os substratos têxteis modificados foram plaqueadas em culturas bacterianas para avaliar sua capacidade de combate. Dando sequência, **microscopia eletrônica de varredura (MEV)** - para obtenção da imagem superficial à nível micro para comparação do tecido de linho com e sem quitosana. Os resultados serão avaliados e comparados de acordo com os valores encontrados na literatura, disponibilizado nas normas técnicas e com pesquisas correlacionadas.

Após a avaliação antimicrobiana, selecionou-se o melhor resultado apresentado e finalizou-se a etapa de discussão quantitativa dos resultados com a **medição de ângulo de contato** - avaliar a capacidade de absorção e adsorção das amostras – e por fim, o **ensaio mecânico de tração** - estudo comparativo do material sem e a com quitosana, devido à aplicabilidade do material dentro do processo produtivo calçadista.

4.3.2.1 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

De acordo com Kawano (2007), entende-se por um bom espectro IR aquele que apresenta o seguinte perfil espectral: linha base plana, nenhuma banda saturada, bandas resolvidas, alta razão sinal/ruído (S/N), ausência de franjas de interferência, ausência de bandas de impureza, de água e de CO₂. A caracterização tem como averiguar a presença dos grupos N-H na CHS disponibilizada comercialmente e na literatura indica sua presença em ondas de 3374cm⁻¹ (SHEIK e BRAMHECHA, 2018).

A análise de espectroscopia no infravermelho foi realizada em um espectrofotômetro NICOLET 6700 no LIMCOP da Universidade Federal de Itajubá Campus Itabira (UNIFEI), com cristal ZnSe no ATR, na faixa entre 4.000 e 400 cm⁻¹, com resolução de 4 cm⁻¹ (COTRIM, 2015). A realização do FTIR permitirá analisar a composição química do polímero em estudo.

4.3.2.2 Ensaio de atividade antimicrobiana

A AATCC determina, com especificações de testes direcionados para a indústria têxtil, condições a partir da AATCC TM 147-2011 a atividade antimicrobiana nos tecidos sem (grupo controle) e com revestimento funcional após difusão por ágar do agente antibacteriano em estudo, onde apresentará uma zona de inibição (Zoi) ao redor das amostras.

A metodologia em questão permite uma comparação e avaliação no grau da atividade antibacteriana após 18-24h de exposição à 37± 2° da amostra nas bactérias

Staphylococcus aureus (organismo gram positivo) e *Escherichia coli* (organismo gram negativo).

Para avaliação das placas incubadas, deve interromper o crescimento dentro do tempo estipulado pela metodologia, e a partir disso a zona limpa de inibição é medida a partir da equação 2:

$$W = \frac{(T-D)}{2} \quad (2)$$

na qual:

W = diâmetro da zona limpa de inibição em mm

T = diâmetro total do teste do espécime e da zona limpa em mm

D = diâmetro do teste do espécime em mm

O tecido de linho foi cortado na máquina de corte à laser ECNC CH-5000 em formato de círculos com Ø10 mm. Em seguida, esses círculos passaram pelo processo de purga, para limpeza do substrato têxtil e em seguida foi beneficiado da mesma maneira a partir das duas etapas já citadas anteriormente, sendo separadas em 3 círculos para cada tipo de amostra, totalizando 30 materiais para avaliação antimicrobiana como mostra na Tab. 2. Além disso, separou-se parte das soluções (1%CHM/1%CHS/2%CHS/3%CHS) aplicadas no substrato têxtil também para avaliação, onde cada amostragem (3) de cada solução (4) conteve 10 µmL depositados em cada placa.

Tabela 2 - Quantidade de amostragem do substrato têxtil para o teste.

	CL Puro (controle)	CHM	1%CHS	2%CHS	3%CHS	Total
<i>S. aureus</i>	3	3	3	3	3	30
<i>E. coli</i>	3	3	3	3	3	

Fonte: elaborado pela autora (2019).

Em parceria com o Laboratório de Genética Celular e Molecular do Instituto de Ciências Biológicas (ICB) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), as

amostras foram plaqueadas onde em cada placa conteve 3 amostragens de cada grupo a ser avaliado, e foram inoculadas em um meio de 200mL de *Difco*TM *Agar* com *Bacto*TM com *Brain Heart Infusion* (7,3g), ambos da *Boston, Dickinson and Company* por 24h.

Enquanto as amostras fixam no plaqueamento, as colônias de bactérias *S. aureus* (gram positiva) e *E. coli* (gram negativa) crescem na estufa à 37°C por 24h. Após o período de fixação, 70 µmL de cada bactéria são misturados em 200mL em ágar separadamente, onde 7mL dessa mistura é disposta em cada placa, separadas pelos respectivos tipos de bactéria e ficam por inoculação por 24h.

4.3.2.3 *Microscopia eletrônica de varredura (MEV)*

A morfologia da superfície das amostras do linho e seus respectivos substratos têxteis revestidos será investigada por microscopia eletrônica de varredura (MEV), utilizando o equipamento de bancada modelo Hitachi 4000 Plus com feixe de elétrons operando a 15 kV. As amostras são fixadas em na porta amostra, com auxílio de uma fita condutora de carbono e as imagens são captadas usando o detector de elétrons retroespalhados (BSD) com ampliação de 500µm.

4.3.2.4 *Medidas de ângulo de contato*

As medidas do ângulo de contato foram realizadas usando a técnica da gota séssil com auxílio de um goniômetro DIGIDROP da GBX *Instruments* no Laboratório de Engenharia de Polímeros e Compósitos (LEPcom) da UFMG. O sistema é equipado com uma câmera CCD conectada a um computador e um dispensador automático de líquido.

O ângulo de contato é determinado ao colocar com uma seringa uma gota de água deionizada de 10µmL na superfície das amostras. As imagens são enviadas imediatamente para análise no computador via câmera CCD. Os resultados representam três medidas consecutivas realizadas em temperatura ambiente, usando

o *software* no modo *Surface Energy*, o qual permite a medida direta do ângulo de contato (em graus).

A presente caracterização tem o intuito de avaliar a capacidade hidrofóbica ou hidrofílica do material em estudo, sendo que em trabalhos anteriores, a CH apresentou ser hidrofílica, porém quando modificada ou atribuída uma nova funcionalidade, pode tornar-se hidrofóbica.

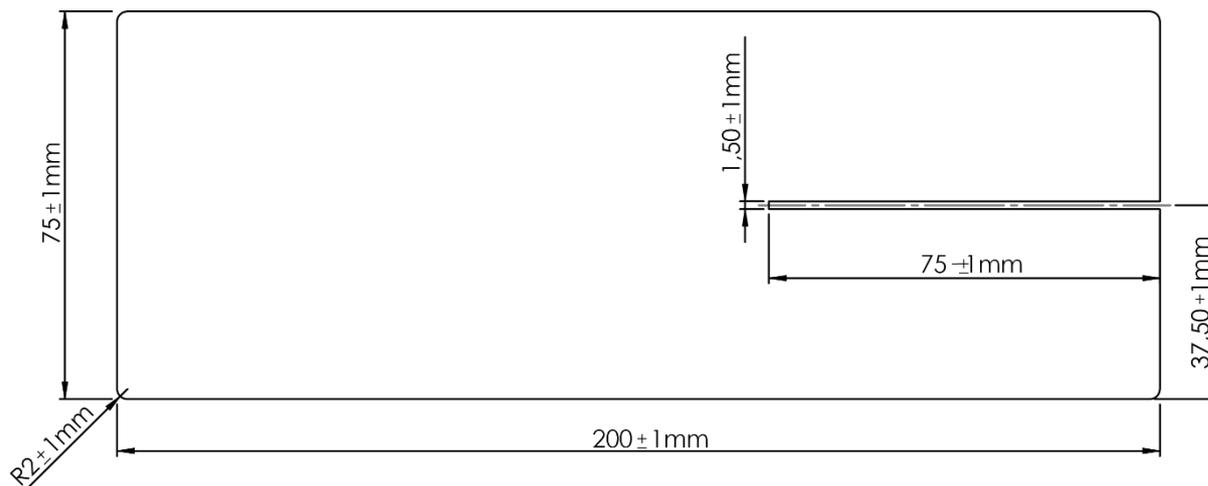
4.3.2.5 *Ensaio mecânico de tração*

As curvas de tensão deformação em tração para a pesquisa em questão serão obtidas com auxílio de uma máquina de Ensaio Universal EMIC DL 2000. Os corpos de prova serão confeccionados a partir de etiquetas confeccionadas de CL sem recobrimento de CH e com, sendo posteriormente cortadas e adaptadas de acordo com a *American Society for Testing and Materials*¹⁰ (ASTM) D-2261-13, que normatiza o método de resistência ao rasgamento dos tecidos pelo método da lingueta (ripagem simples), onde uma tensão constante de registro de velocidade de extensão (CRE) é aplicado na máquina, para propriedades de tração dos polímeros. Serão avaliadas as amostras sem e com CH.

A metodologia de ensaio exige que o lote das amostras, caso tenham 5 quantidades da mesma amostragem (Fig. 24), que todas passem pela máquina. Sendo necessário pegar cada unidade em direção normal e transversal à máquina, avaliando a capacidade de ruptura da trama e urdume (Fig. 25).

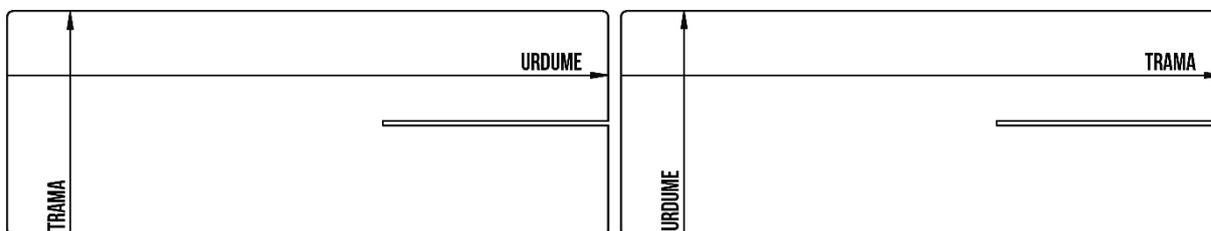
¹⁰ Associação Americana para testes e materiais, traduzido pelo autor.

Figura 24 - Corpo de prova do Ensaio de Tração



Fonte: ASTM D-2261-13, modificado pela autora (2019).

Figura 25 - Corpos de prova e seus respectivos sentidos de corte.



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

A calibração da máquina pode ser encontrada na norma em questão, onde encontra-se a distância entre as garras de 75 ± 1 mm, e a velocidade do teste para 300 ± 10 mm/min. Além disso, a norma fornece gráficos de comportamento típico para tecidos naturais, sintéticos e não-tecidos para análise dos resultados obtidos.

4.3.3 Projeto de produto aplicado à calçados

A intenção de projeto é delimitar os processos metodológicos de cada área de conhecimento do design trabalhada (industrial e moda), em associação com a sustentabilidade no desenvolvimento laboratorial do beneficiador final para têxteis (engenharia de materiais). Como fundamento metodológico de design para desenvolvimento projetual, o projeto baseia-se na obra descrita por Bernd Löbach, "Design Industrial: bases para a configuração dos produtos industriais".

Vale ressaltar que o processo de design é complexo, dinâmico e multidisciplinar, portanto, a metodologia selecionada conta com o auxílio de outros métodos, técnicas e ferramentas – de diferentes autores e áreas do conhecimento - para sanar a demanda projetual em questão, como em “Como se cria: 40 métodos para design de produtos” por Ana Veronica Pazmino.

Ao percorrer sobre a definição sobre design industrial entre Baxter (2000), Löbach (2001) e WDO (2015), nota-se que a presente pesquisa compactua nas diretrizes de inovação por redesign, segundo Pazmino (2015) e os demais autores citados por propor a elaboração e aplicação de um biopolímero como beneficiador têxtil na configuração de um componente calçados.

Em termos de metodologia de projeto, o processo tem como fundamentação as seguintes fases (PAZMINO, 2015; LÖBACH, 2001):

- I. Preparação/planejamento: período de identificação e ordenações de informações e ações em torno da situação-problema vislumbrada;
- II. Geração/análise: reflexão e produção das informações coletadas na fase anterior;
- III. Avaliação/síntese: reúne os elementos objetivos do projeto para interpretar e tomar as decisões coerentes com a demanda de projeto;
- IV. Realização/criatividade: etapa de aplicação de todas as tarefas e informações desenvolvidas até então, onde se materializa a alternativa escolhida.

O quadro 7 a seguir é um resumo metodológico dos modelos de processo, técnicas e ferramentas aplicadas no projeto:

Quadro 7 - Resumo metodológico

Etapa	Embasamento	O que é?	Quando utilizar?
1) Preparação/planejamento	Requisitos do projeto (Löbach, 2001)	Determinação das funções do produto para satisfazer as necessidades do usuário estudado	Na preparação e planejamento do projeto, evitando o lançamento de novos produtos que poderiam ser consideravelmente reduzidos.
	Mapa mental (Buzan, 1970)	Método que permite a assimilação de diferentes elementos que compõe o todo, seus respectivos desdobramentos e relações	Planejamento e síntese do projeto, para registro dos elementos discutidos na proposta.

Fonte: Pazmino (2015) e Löbach (2001), adaptado pela autora (2019).

Desta maneira, a partir da compreensão dos componentes utilizados para a concepção do objeto pelo designer de calçados, o desenvolvimento projetual se dá início. O projeto de produto tem como foco o desenvolvimento de um calçado usando o tecido de CL revestido com a solução de CH como um componente inserido no objeto, onde apresente o melhor desempenho em termos de propriedades químicas e mecânicas adequadas para possível aplicação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Eficiência da purga

Como resultado do beneficiamento de purga, avaliou-se a pesagem das etiquetas, todas iguais, antes e depois do tratamento, e seu resultado pode ser encontrado na Tab. 3.

Tabela 3 - Pesagem das etiquetas antes e depois do tratamento de purga

Etiqueta	Não tratada (g)	Tratada (g)	Redução (%)
1	0,3241	0,2859	11,78 ± 0,36
2	0,3197	0,2793	12,63 ± 0,13
3	0,3214	0,2802	12,81 ± 0,24

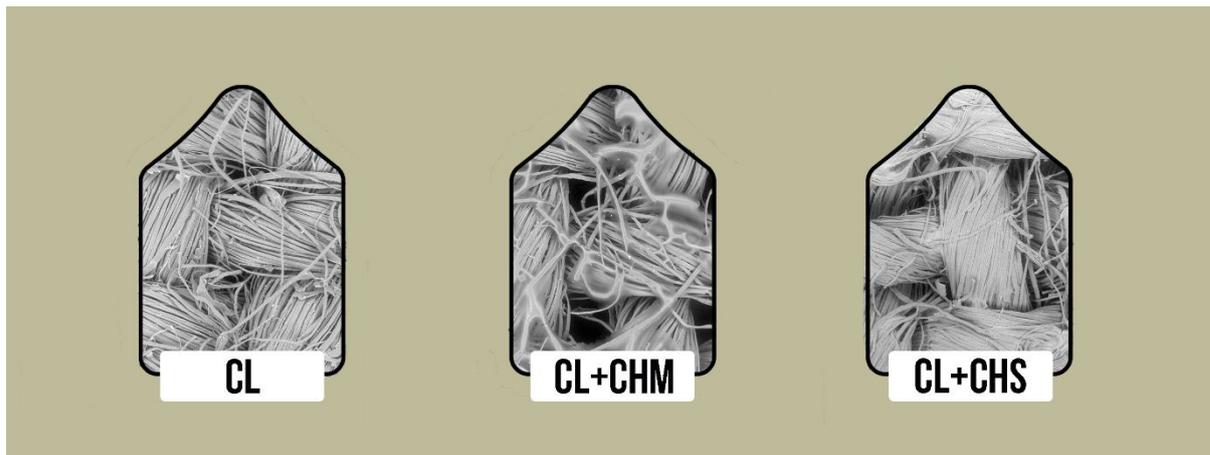
Fonte: elaborado pela autora (2019).

Notou-se que uma redução na massa não apresentou diferença significativa entre as amostras na sua pesagem antes e depois do tratamento de purga, indicando que a purga foi homogênea. Além disso, vale ressaltar que a precisão de corte pela máquina de corte à laser contribui para tal resultado, devido ao caminho que a máquina executa quando se delimita o desenho computacional (vetor) onde se realiza a leitura do arquivo.

As amostragens seguiram o protocolo adaptado, já descritos, para sua manipulação a ser verificado o comportamento da CHS em diferentes concentrações em relação à CHM, convencionalmente aplicada na literatura.

Seguindo para a etapa de beneficiamento final e a variação da etiqueta sem o biopolímero e após o revestimento com a CHM e CHS (Fig. 26).

Figura 26 - Etiqueta sem e com beneficiamento de quitosana



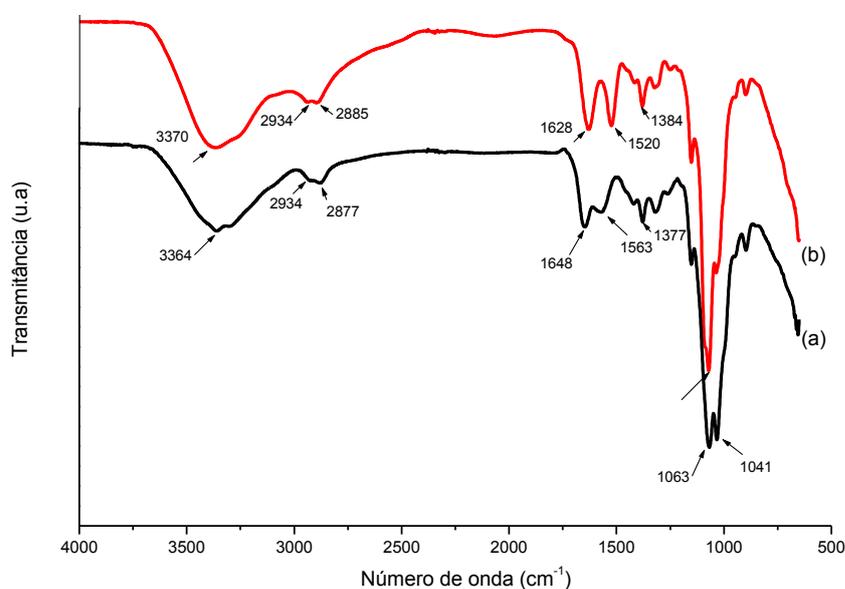
Fonte: elaborado pela autora (2019).

Para maiores informações sobre o revestimento, segue-se para o subcapítulo de caracterizações para comprovação do procedimento realizado.

5.2 Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

Os espectros de FTIR da quitosana de média massa molar (CHM) e da quitosana solúvel em água (CHS) são mostrados a seguir (Fig. 27):

Figura 27 - Espectros de FTIR correspondentes a CH: (a) CHM e (b) CHS.



Fonte: elaborado pela autora (2019).

Os espectros das duas CH exibem picos característicos semelhantes. A ampla banda centrada em 3360-3370 cm^{-1} se deve à absorção em estiramento simétrico dos grupos OH e NH_2 (Li *et al.*, 2019). Os pequenos picos em forma que aparecem como dubletes na faixa de 2900 cm^{-1} correspondem ao estiramento simétrico de C-H (Li *et al.*, 2017). Os dois espectros mostram a banda característica do estiramento simétrico da carbonila (C=O) em amida I (Li *et al.*, 2019).

No espectro da quitosana insolúvel em água (Fig. 27a) aparece uma fraca absorção em 1563 cm^{-1} . Essa absorção está relacionada com o dobramento de N-H em amida II (Qin *et al.*, 2006; Li *et al.*, 2019). Li *et al.* (2019) reportaram que tal pico só foi detectado no espectro da quitosana insolúvel em água. Segundo esses autores, o desaparecimento do pico amida II indicou uma diferença na interação molecular e grau de desacetilação (%DA) entre as duas quitosanas. No caso desses autores foi reportado um maior grau de desacetilação para quitosana solúvel. Segundo eles, o alto grau de desacetilação suportou a solubilidade da CH em água.

Ao contrário, o espectro correspondente à quitosana solúvel em água (Fig. 27b) mostra um pico em 1520 cm^{-1} bem mais acentuado, ou seja, demonstrou uma maior contribuição de amida II na quitosana solúvel. Esses resultados controversos estão relacionados com as diferentes estratégias adotadas pelos diversos autores para obtenção da quitosana solúvel em água. Qin *et al.* (2006), por exemplo, também detectaram pico em 1586 cm^{-1} no espectro de quitosana solúvel em água. Segundo eles, o aparecimento desse pico provou o baixo grau de desacetilação, e está de acordo com a estratégia adotada pelos autores que foi tornar a quitosana solúvel através de acetilação da quitosana insolúvel com anidrido acético.

Heidari *et al.* (2016) estimaram o grau de desacetilação de quitosanas usando espectros FTIR e aplicando as equações 3 e 4.

$$\text{Razão de absorbância} = \frac{(A)_{\text{amida}}}{(A)_{\text{hidroxila}}} \quad (3)$$

$$\%DA = 97,67 - \left(26,486 \left(\frac{A_{1655}}{A_{3450}} \right) \right) \quad (4)$$

Na equação 3, A_{amida} e $A_{hidroxila}$ é a absorbância dos grupos amida e hidroxila respectivamente (1655 cm^{-1} e 3450 cm^{-1}). Assume-se que o valor desta razão é zero para a quitosana totalmente desacetilada.

Aplicando os cálculos propostos por Heidari *et al.* (2016), encontramos %DA de 73,83% e 77,80% para quitosana insolúvel e solúvel respectivamente. Não houve, portanto, diferença significativa no grau de desacetilação. Esse resultado indica que a CHS (comercial) pode ter sido obtida, por exemplo, através de redução da massa molar sem alteração do %DA, que é outra estratégia para que a quitosana se torne solúvel em água (QIN *et al.*, 2006).

Outras bandas encontradas nos dois espectros correspondem ao dobramento assimétrico de C-H dos grupos CH_2 e CH_3 em 1377 e 1384 cm^{-1} e ao estiramento C-O-C do anel de glicose em 1063 cm^{-1} (LI *et al.*, 2019).

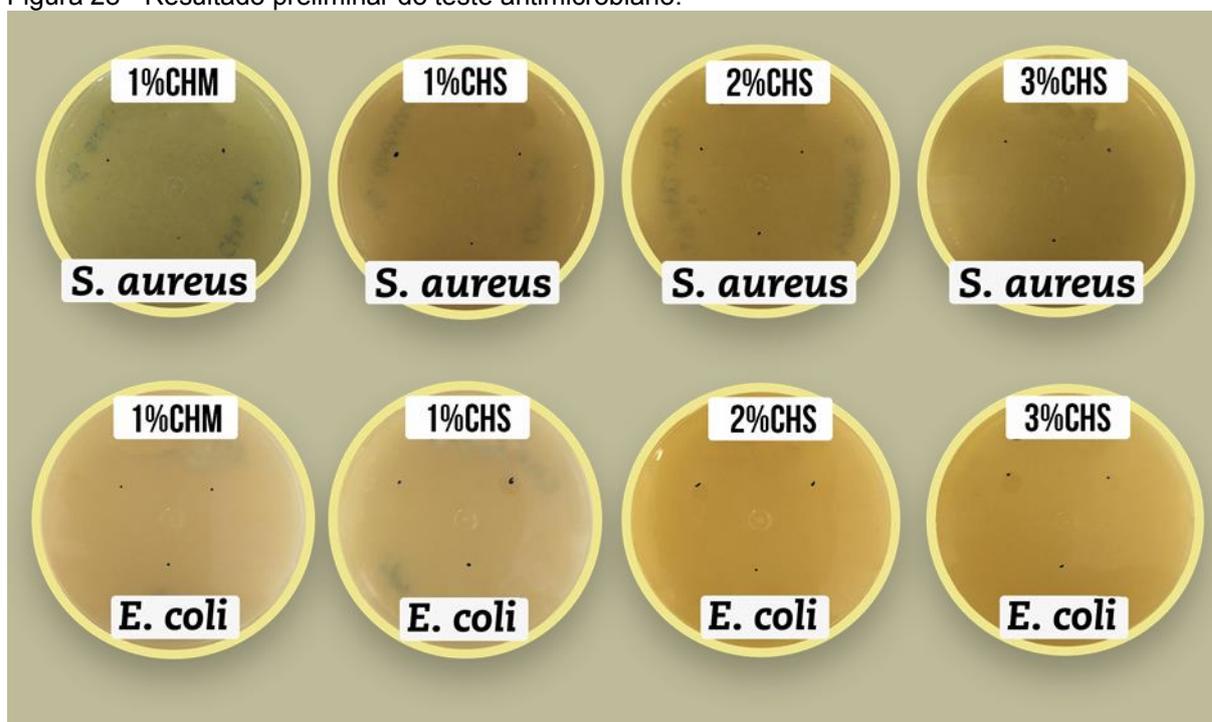
Xie *et al.* (2007) modificaram a quitosana com cloridrato de cloretoilamina em meio alcalino para torná-la solúvel em água. Os autores acompanharam a modificação pelos espectros de FTIR observando principalmente o deslocamento das bandas para uma nova posição. Na presente pesquisa não foi possível fazer esse tipo de análise, por se tratar de duas quitosanas comerciais diferentes.

5.3 Ensaio de atividade antimicrobiana

Tendo como base o protocolo da norma AATCC TM 147-2011, a metodologia quantitativa permite a comparação e evolução da atividade antibacteriana após 24h da bactéria exposta no tecido. Após a incubação, a atividade bacteriana foi calculada pela zona de inibição (Zoi) dispostas na placa.

Como pode ser observado (Fig. 28), tendo a CHM como grupo controle e mesmo aumentando a concentração da CHS, não foi visualizado em nenhuma das amostras alguma atividade antimicrobiana, ou seja, tanto a bactéria *S. aureus* quanto a *E. coli* proliferaram em todo o campo de amostragem. Xu *et al.* (2018) relatam que em seus ensaios, foi necessário um aditivo para potencializar a atividade antimicrobiana da CH, uma vez que ela apresenta baixo efeito quando atua sozinha.

Figura 28 - Resultado preliminar do teste antimicrobiano.



Fonte: elaborado pela autora (2019)

Devido a esse resultado, novos estudos em torno da CHS foram procurados. Kahya (2018) traz diferentes abordagens para a síntese da CHS, e dentro desses resumos, notou-se que mesmo aumentando a solubilidade do biopolímero em meio básico, ele ainda necessita de ser dissolvido em meio ácido ($\text{pH} < 6.5$) para ativar as cargas positivas da CH e romper a parede celular dos microrganismos (SHEIKH, 2018; BRABER *et al.*, 2017; QIN *et al.*, 2006).

Xie *et al.* (2007) reportam um protocolo de obtenção de quitosana solúvel em água (CHS) por meio da modificação química de um derivado da quitosana (hidroxietil quitosana) para obtenção de um sal quaternário de quitosana na expectativa de

melhorar a solubilidade em água e atividade antimicrobiana. Os resultados apresentados pelos autores mostram que com a redução da interação intermolecular, como as forças de van der Waals, houve um aumento da solubilidade e da massa molecular. Além disso, a síntese também depende de um percentual maior de grupos de NH₂ para apresentar melhores resultados antimicrobianos.

Nesse contexto, apresentam-se resultados preliminares da atividade antimicrobiana da quitosana solúvel em água aditivada com Sal Quaternário de Amônio (QSA), a saber: brometo de cetil trimetil amônio (NEON, cod. 00621). O QSA é um material biocida aplicado na prevenção de transmissão de infecções microbianas, sejam gram positivas ou gram negativas (CERKEZ *et al.*, 2011).

Para comparação, elaborou-se um novo grupo controle com novas soluções de 1% ácido propiônico (PA) e 1% ácido acético (AA), ambos bem estabelecidos na literatura como meio a se dissolver a CHM (SHEIKH e BRAHMECHA, 2018; BHUIYAN *et al.*, 2017). Às soluções homogeneizadas sob agitação magnética (CHM+1%AP; CHM+1%AA; 1%CHS; 2%CHS; 3%CHS) foi adicionado o reagente QSA (0,1g) (BRAUTIGAM *et al.*, 2006).

O pH das soluções foram medidos com o auxílio de um pHmetro de bancada K39-101AB da KASVI e os resultados estão mostrados na Tab. 4.

Tabela 4 - pH das soluções em estudo.

Solução	pH	Grau de acidez
1%AA	2,96	Ácida
1%AP	3,49	Ácida
1%CHS	3,72	Ácida
H ₂ O deionizada (DI)	6,54	Neutra
0,1g de QSA em 100mL DI	4,85	Ácida

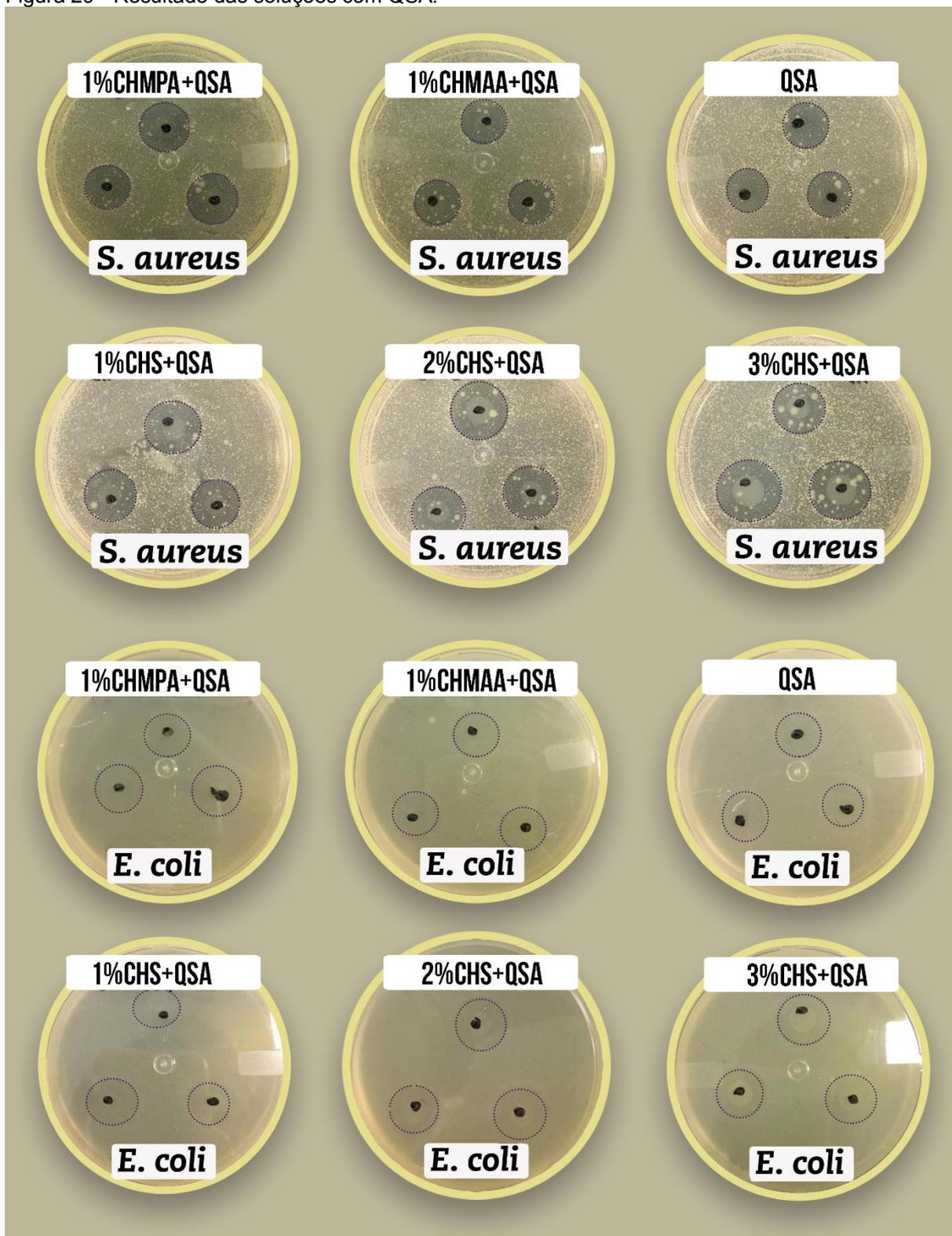
Fonte: elaborado pela autora (2019).

Conforme pode ser observado na Tab. 5, a solução 1%CHS apresentou pH ácido, bem próximo ao valor de 3,9 informado pelo fornecedor, apesar da CHS ter sido

dissolvida em meio neutro (H₂O deionizada). Com isso, compreendeu-se que apesar da CHS já possuir um pH<6,5, o material ainda necessitaria ser dissolvido em meio ácido para acionar suas cargas positivas a fim de garantir a ruptura da parede celular das bactérias e com isso inibir sua proliferação.

As soluções passaram por uma nova avaliação antimicrobiana (Fig. 29), repetindo o procedimento já realizado anteriormente, para testar o papel do QSA na ativação das cargas positivas das soluções de quitosana (CHM e CHS), e assim obter a funcionalidade antimicrobiana.

Figura 29 - Resultado das soluções com QSA.



Fonte: elaborado pela autora (2019).

Notou-se que todas as soluções apresentaram atividade antimicrobiana, a partir do halo de inibição medido em cada uma, conforme informado na Tab. 5. As soluções que tiveram contato contra *S. aureus* apresentaram halos de inibição mais limpos em relação às soluções contra *E. coli* e nota-se que a solução de QSA apesar de não demonstrar ser um dos maiores halos, apresentou ser o mais limpo em relação aos demais, confirmando a sua atuação antimicrobiana como reportado na literatura (CERKEZ *et al.*, 2011).

Tabela 5 - Média dos halos de inibição (Fig. 29) das soluções em estudo da figura.

	CHM+1%PA+QSA	CHM+1%AA+QSA	QSA	1%CHS+QSA	2%CHS+QSA	3%CHS+QSA
<i>S. aureus</i>	Ø17,3	Ø16	Ø16,3	Ø19,6	Ø19,3	Ø21,3
<i>E. coli</i>	Ø16	Ø16,6	Ø15	Ø17	Ø17,6	Ø17,3

Ø = diâmetro do halo.

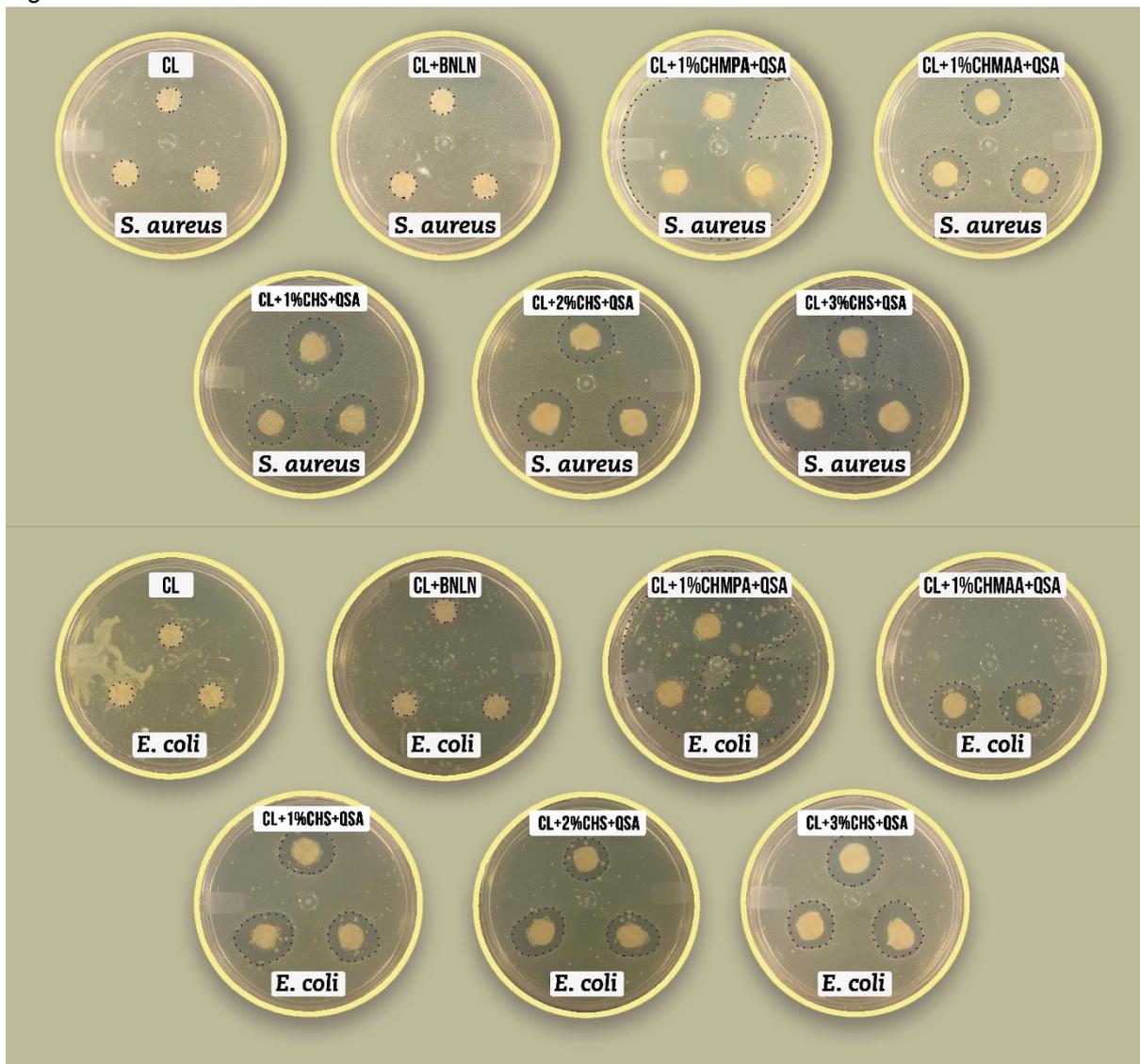
Fonte: elaborado pela autora (2019).

Além disso, comprova-se também que a inserção do QSA nas soluções potencializou a atividade antimicrobiana, uma vez que no procedimento realizado anteriormente, não foi apresentada nenhuma atividade antimicrobiana contra as duas bactérias em estudo.

Acrescentando que as ações antimicrobianas das soluções contra *E. coli* tentaram inibir a bactéria (o halo medido), porém a partir de um certo momento durante a inoculação por 24h, as bactérias se espalharam em torno de todo o corpo de prova, demonstrando que a solução não teve tanta capacidade antimicrobiana em comparação com *S. aureus*.

Dando sequência ao ensaio antimicrobiano, as soluções de quitosana foram incorporadas ao substrato têxtil revestido com solução de BNLN (borracha natural em limoneno). Os valores medidos em mm das zonas de inibição (Zoi) das amostras (Fig. 30) estão apresentados na Tab. 6.

Figura 30 - Ensaio antimicrobiano com tecido.



Fonte: elaborado pela autora (2019).

Tabela 6 - Zol dos substratos têxteis modificados.

	CL	CL+CHM+1 %PA+QSA	CL+CHM+1 %AA+QSA	CL+1%CHS+ QSA	CL+2%CHS+ QSA	CL+3%CHS+ QSA
<i>S. aureus</i>	-	*	Ø5	Ø6,5	Ø7	Ø7,5
	-		Ø6,5	Ø5	Ø6	Ø10
	-		Ø5	Ø6	Ø5,5	Ø7,5
<i>E. coli</i>	-	*	Ø4	Ø6	Ø4	Ø6
	-		**	Ø7	Ø5,5	Ø5
	-		Ø5,5	Ø5	Ø5,5	Ø6

*Não foi possível avaliar, pois o substrato modificado inibiu praticamente todo o campo de amostragem.

** Perda de um substrato têxtil modificado durante a execução do procedimento.

Fonte: elaborado pela autora (2019).

Dos resultados apresentados na Tab. 6, verificou-se a CHM dissolvida em uma

solução com PA demonstrou a atividade antimicrobiana, comprovando o resultado encontrado na literatura (SHEIKH e BRAHMECHA, 2018). A CHM dissolvida em AA também apresentou tal capacidade, porém com Zol menores. Esse resultado sugere que, conforme já mencionado, apesar da CHS ter como vantagem a sua solubilidade em água, a atividade antimicrobiana poderia ser potencializada em caso de dissolução em ácido. Essa hipótese indica que parte da atividade antimicrobiana da solução é derivada do ácido e não da quitosana.

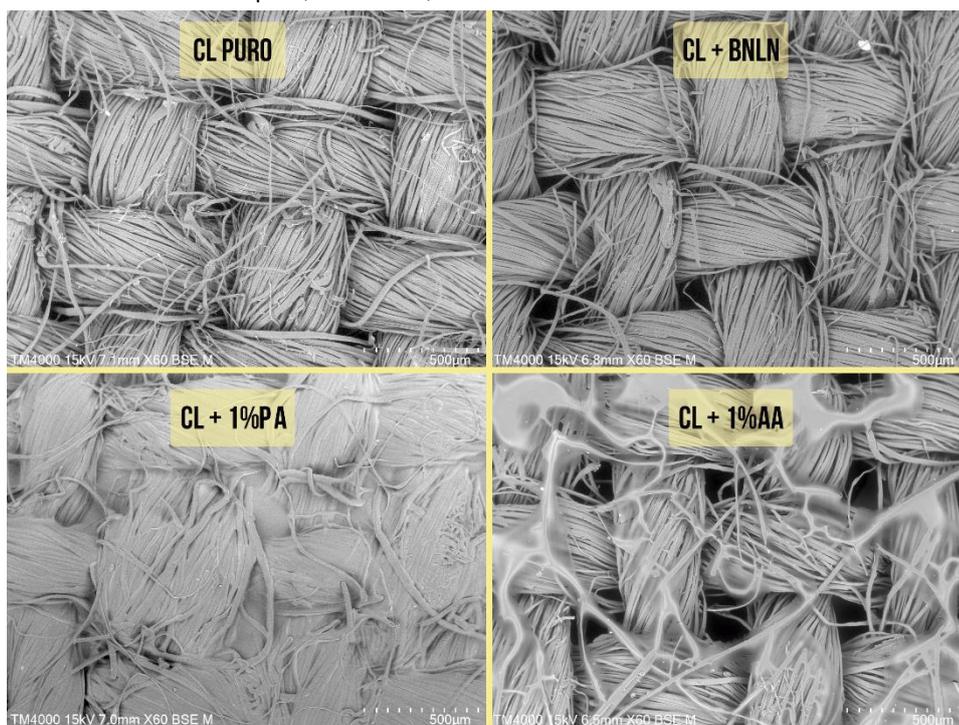
Bonilla *et al.* (2019) compararam a atividade antimicrobiana de soluções aquosas de quitosana neutra e em ácido acético durante experimentos para conservação de peixe refrigerado. Segundo os autores, a atividade antibacteriana da solução de quitosana em ácido acético foi mais efetiva do que a da quitosana solúvel em água, a qual foi mais eficaz na redução da oxidação lipídica dos filés de bagre (*Ictalurus punctatus*) refrigerados.

Apesar disso, os resultados com a CHS são considerados satisfatórios, os quais mostraram que todas as amostragens registraram uma Zol significativa, principalmente as de CL+3%CHS+QSA. Portanto, compreende-se que quanto maior for a concentração do biopolímero na formulação laboratorial, maior será sua capacidade antimicrobiana. Além disso, tais resultados comprovam a necessidade de um aditivo, podendo ser ou não um biocida, para obtermos os halos de inibição devido à mudança de pH de um meio base – água deionizada – para um meio ácido – QSA.

5.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As imagens obtidas pelo MEV apresentam a morfologia da superfície das amostras (Fig. 31) com o procedimento de purga – CL puro –, beneficiada pela BNLN – CL+BNLN –, e seus respectivos grupos controle – CL+1%CHMPA e CL+1%CHMAA.

Figura 31 - MEV das amostras CL puro, CL+BNLN, CL+1%CHMAP e CL+1%CHMAA com QSA.



Fonte: elaborado pela autora (2019).

Habeeba *et al.* (2017) indicam que seu substrato têxtil chegou a ser imobilizado pela borracha natural, formando uma camada pelo revestimento do mesmo e consideraram que esse beneficiamento se encontrou uniforme pelo tecido. Entretanto, os autores não indicam qual a concentração da solução de borracha foi aplicada no tecido. Na presente pesquisa foi aplicada sobre o têxtil uma solução com concentração de 0,9% e assim como os autores, foi observado certo grau de imobilização entre os fios, pelo escurecimento do corpo de prova na imagem (Fig. 31). Já na amostra controle 1%CHMAP formou-se uma camada uniforme em todo o campo delimitado pela imagem, enquanto na amostra controle 1%CHMAA foi observado um preenchimento parcial entre os fios. Ambas as morfologias diferiram bastante em relação à amostra de CL puro (SHEIKH *et al.*, 2018).

Nas amostras de CHS, é mais visível a incorporação do revestimento nos fios (Fig. 32). No MEV isso é visível pelo preenchimento do filme entre os fios tecidos com o filme formado pelas soluções. Porém a imagem também mostra que o preenchimento com o filme não chegou a afetar o entrelaçamento da trama, sugerindo uma possível

preservação do conforto térmico e da respirabilidade. Vale ressaltar que a CH é uma molécula rígida com temperatura de transição vítrea alta, por isso em concentração maiores provavelmente o tecido ficará mais rígido ao toque. (HABEEBA *et al.*, 2017). Tal inconveniente será avaliado em estudos futuros

Figura 32 - MEV das amostras de CHS nas concentrações de 1%, 2% e 3% com QSA.



Fonte: elaborado pela autora (2019).

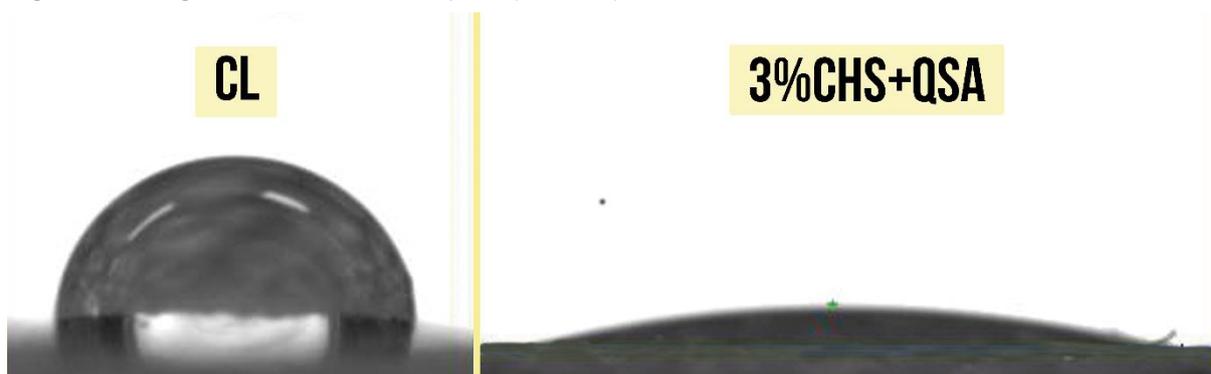
Em vista desses resultados, optou-se a partir de agora por avaliar comparativamente o substrato têxtil – CL – com a amostra CL+3%CHS+QSA, a qual apresentou melhor atividade antimicrobiana.

5.5 Medidas de ângulo de contato

Para compreensão se a matéria prima manipulada possui caráter hidrofílico ou hidrofóbico quando submetida ao teste de medição do ângulo de contato, foram obtidos valores relacionados a essa questão.

Tanto o controle (CL) quanto a amostra CL+3%CHS+QSA apresentaram um comportamento predominantemente hidrofílico ($0^\circ < \theta < 90^\circ$) (Fig. 33). Porém, há uma diferença significativa entre os valores, o ângulo medido para a amostra de CL ficou muito próximo a 90° , caracterizando-se apenas como hidrofílica. Já a amostra CL+3%CHS+QSA tem seus valores e média mais próximas de zero, configurando um caráter super-hidrofílica, como apresentado na Tab. 7. Esses resultados também sugerem uma maior capacidade de absorção do suor e aumento do conforto térmico.

Figura 33 - Ângulo de contato do CL puro (controle) e CL+3%CHS+QSA.



Fonte: elaborado pela autora (2019).

Tabela 7 - Cinco maiores medidas de ângulo de contato (θ) da CL e 3%CHS+QSA.

	CL			CL+3%CHS+QSA		
	1	2	3	1	2	3
1	88,2°	91,0°	87,0°	80,6°	53,9°	43,4°
2	87,4°	90,0°	87,4°	57,2°	30,6°	40,6°
3	85,9°	89,7°	86,7°	57,2°	27,3°	38,6°
4	85,8°	88,6°	86,3°	55,2°	26,6°	37,1°
5	85,8°	88,3°	84,4°	55,2°	25,5°	36,1°
Média entre corpos de prova	86,62°	89,52°	86,36°	61,08°	32,78°	39,16°
Média total	87,5°			44,34°		

Fonte: elaborado pela autora (2019).

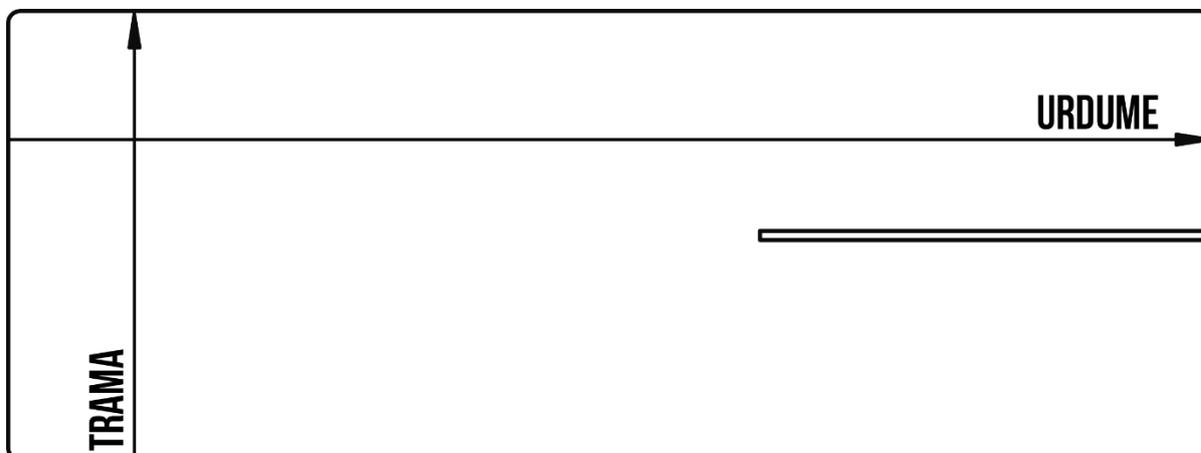
Estudos publicados na literatura também mostram que a fibra quando tratada com CH, devido aos seus grupos -OH na superfície da fibra, tornam a superfície estudada mais sensível à água (XU *et al.*, 2019; CHEN, *et al.*, 2019). Além disso, a CH em estudo é caracterizada por ser solúvel em água, e isso favorece a absorção da gota no d'água na superfície de contato.

Como se observou nas imagens de MEV, o filme formado pela solução de quitosana não revestiu completamente a superfície têxtil, isto é, os espaços vazios entre os fios da trama de CL não foram completamente preenchidos. Porém a presença do filme promoveu o agrupamento de fios, o que pode ter reduzido a rugosidade superficial do material. Têxteis hidrofóbicos ou até superhidrofóbicos são alcançados com maior rugosidade superficial, além do recobrimento com baixa tensão superficial (RAZA *et al.*, 2019; STAN *et al.*, 2018).

5.6 Ensaio mecânico de tração

O ensaio teve como referência a norma ASTM D-2261-13 a qual determina que o ensaio deve ser realizado em ambos os sentidos do tecido, trama e urdume. O corpo de prova com rompimento no sentido do urdume (Fig. 34).

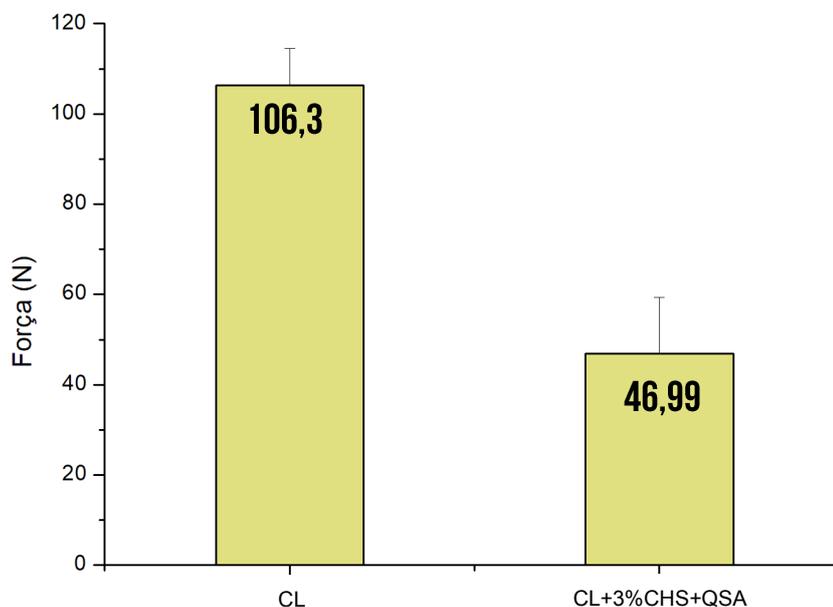
Figura 34 - Corpo de prova com rompimento sentido da urdume



Fonte: elaborado pela autora (2019).

A força máxima aplicada no sentido da trama e rompendo o urdume demonstra que o tecido quando revestido tem menor força aplicada para rasgo em comparação ao tecido puro (Fig. 35), obtendo um comportamento 55,79% inferior.

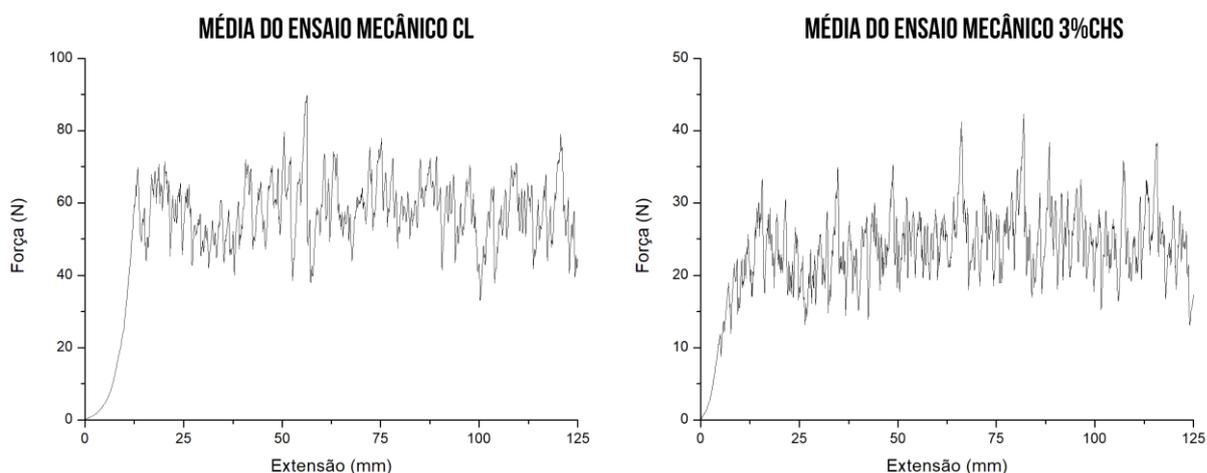
Figura 35 - Média de força máxima no sentido urdume.



Fonte: elaborado pela autora (2019).

Os gráficos do ensaio (Fig. 36) com máximos e mínimos de força representam os momentos de ruptura de cada fio. Neles é possível observar que a força necessária para romper o primeiro fio na amostra controle (CL) é maior do que aquela necessária para romper o primeiro fio na amostra revestida.

Figura 36 - Média dos gráficos Extensão(mm) x Força (N) no sentido urdume.



Fonte: elaborado pela autora (2019).

Quantificando os valores de extensão e força aplicada na Tab. 8, já se distingue no primeiro pico registrado no teste que o tecido revestido apresentou valores menores de força para o rompimento do fio. Para os 5 maiores picos de cada amostra, nota-se que não há um valor preciso da extensão para o qual o rompimento vai ocorrer, inferiu-se que tal comportamento depende do fio que foi tecido naquele ponto.

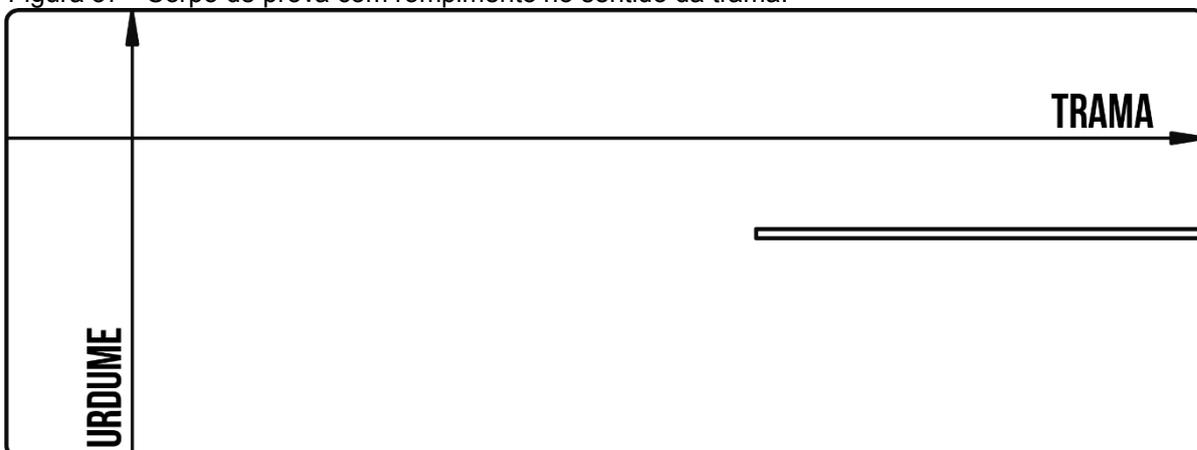
Tabela 8 – Primeiro pico registrado e seus respectivos 5 maiores picos de força (N) e valor de extensão (em mm) do ensaio no sentido urdume.

	Primeiro pico		Cinco maiores picos	
	Força (N)	Extensão(mm)	Força (N)	Extensão(mm)
CL	59,49	12,57	89,77	56,31
			79,45	50,50
			78,90	120,62
			77,89	75,31
			75,46	72,28
3%CHS	11,77	4,93	42,34	82,16
			41,18	66,09
			38,44	115,83
			38,21	88,56
			35,69	107,14

Fonte: elaborado pela autora (2019).

O corpo de prova com rompimento do urdume no sentido trama está ilustrado a seguir (Fig. 37).

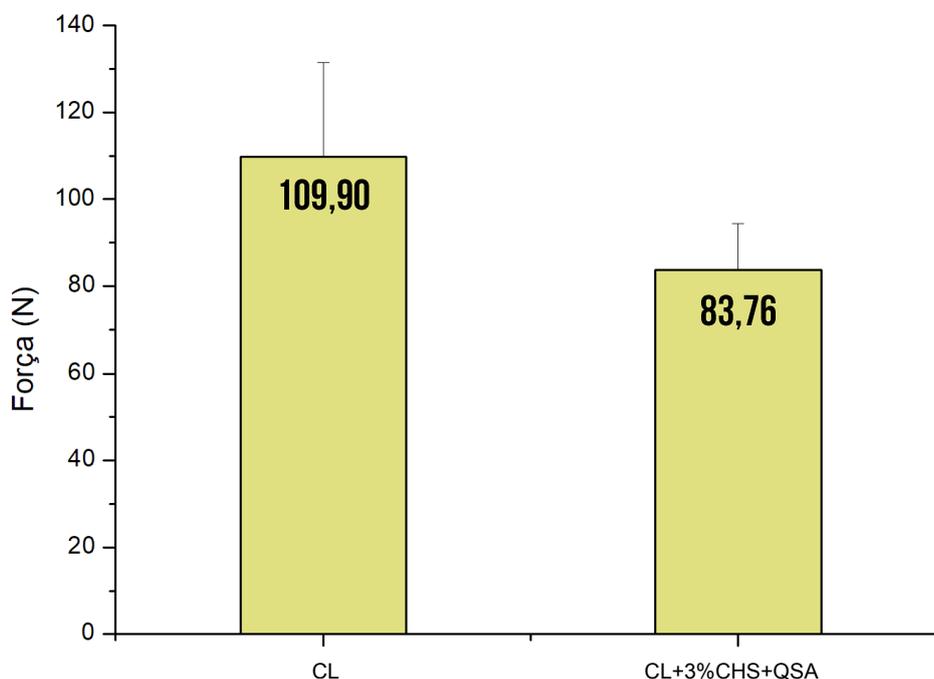
Figura 37 - Corpo de prova com rompimento no sentido da trama.



Fonte: elaborado pela autora (2019).

Avaliando o comportamento do material em relação ao sentido da trama (Fig. 38), observou-se um valor superior para ambas às amostras em relação à ruptura no sentido do urdume, mas ainda prevaleceu a fragilidade do tecido revestido com a força necessária para rompimento 23,79% inferior em relação à CL.

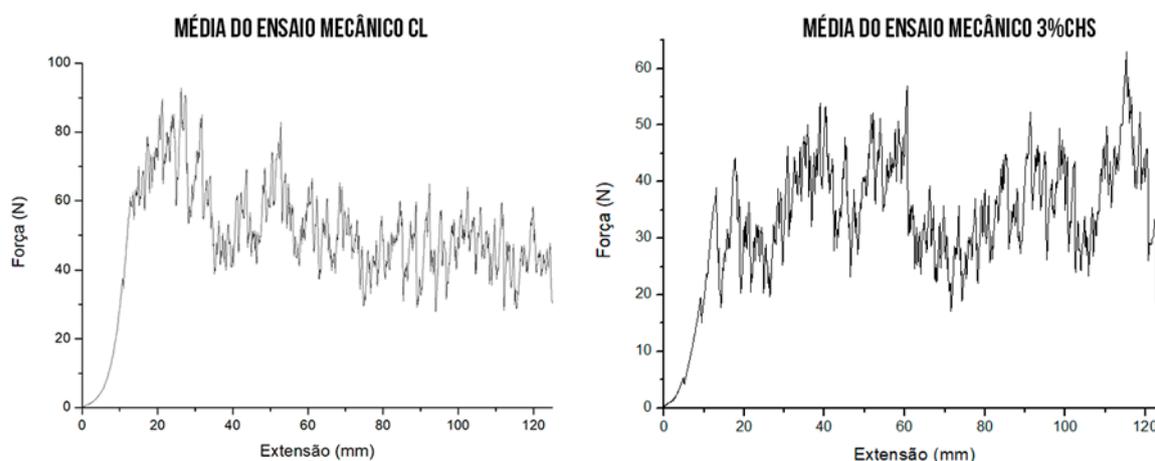
Figura 38 - Média da força máxima no sentido trama



Fonte: elaborado pela autora (2019).

Nos gráficos da Fig. 39 também é possível observar que a força necessária para romper o primeiro fio na amostra controle (CL) é maior do que aquela necessária para romper o primeiro fio na amostra revestida. Porém ambos apresentam menores valores do que aqueles observados no ensaio sentido do urdume.

Figura 39 - Média dos gráficos Extensão (mm) x Força (N) no sentido trama.



Fonte: elaborado pela autora (2019).

Porém se pode observar na Tab. 9, os cinco maiores picos refletiram o comportamento do ensaio, gerando maiores valores de força para o sentido da trama.

Tabela 9 - Primeiro pico registrado e seus respectivos 5 maiores picos de força (N) e seu valor de extensão (mm) do ensaio no sentido trama.

	Primeiro pico		Cinco maiores picos	
	Força (N)	Extensão(mm)	Força (N)	Extensão(mm)
CL	37,57	10,79	92,72	26,34
			90,55	27,31
			89,59	21,23
			85,16	31,84
			85,01	24,38
CL+3%CHS + QSA	5,32	4,79	62,68	115,27
			56,76	60,58
			53,75	38,86
			53,41	40,24
			52,35	91,32

Fonte: elaborado pela autora (2019).

Os valores comprovam que apesar de trazer uma nova funcionalidade ao tecido, de ser antimicrobiano, sua capacidade de rompimento aumenta devido ao enfraquecimento dos fios têxteis ao absorver a solução polimérica. Tripathi *et al.* (2019), Jabasingh *et al.* (2016) e Cerkez *et al.* (2011) confirmam em seus estudos que as fibras naturais quando submetidas à tratamentos por revestimento apresentam um enfraquecimento significativo da força aplicada quando o substrato é submetido à uma extensão constante.

Diferente dos demais autores, que discutem o procedimento em relação à fibra de algodão, Tripathi *et al.* (2019) apresentaram uma redução de 40% de força aplicada na fibra de linho tratada, devido à forte degradação da celulose em meio ácido. Essa constatação na literatura discutida por Tripathi *et al.* (2019) reafirma a contribuição da quitosana solúvel em água quanto foco de desenvolvimento de pesquisas futuras pois retira a limitação do biopolímero quanto à sua solubilidade em água quando não modificado para tal funcionalidade (LI *et al.*, 2019; SHAHID E BUTOLA, 2019).

Por fim, esse resultado também influencia em outras possíveis aplicações desse material, como em situações de uso onde o material não precisa sofrer deformação ao aplicar uma força. Um exemplo disso, seria a atuação do tecido funcional como indumentária para equipamentos de segurança individual, ou peças de vestimenta hospitalar.

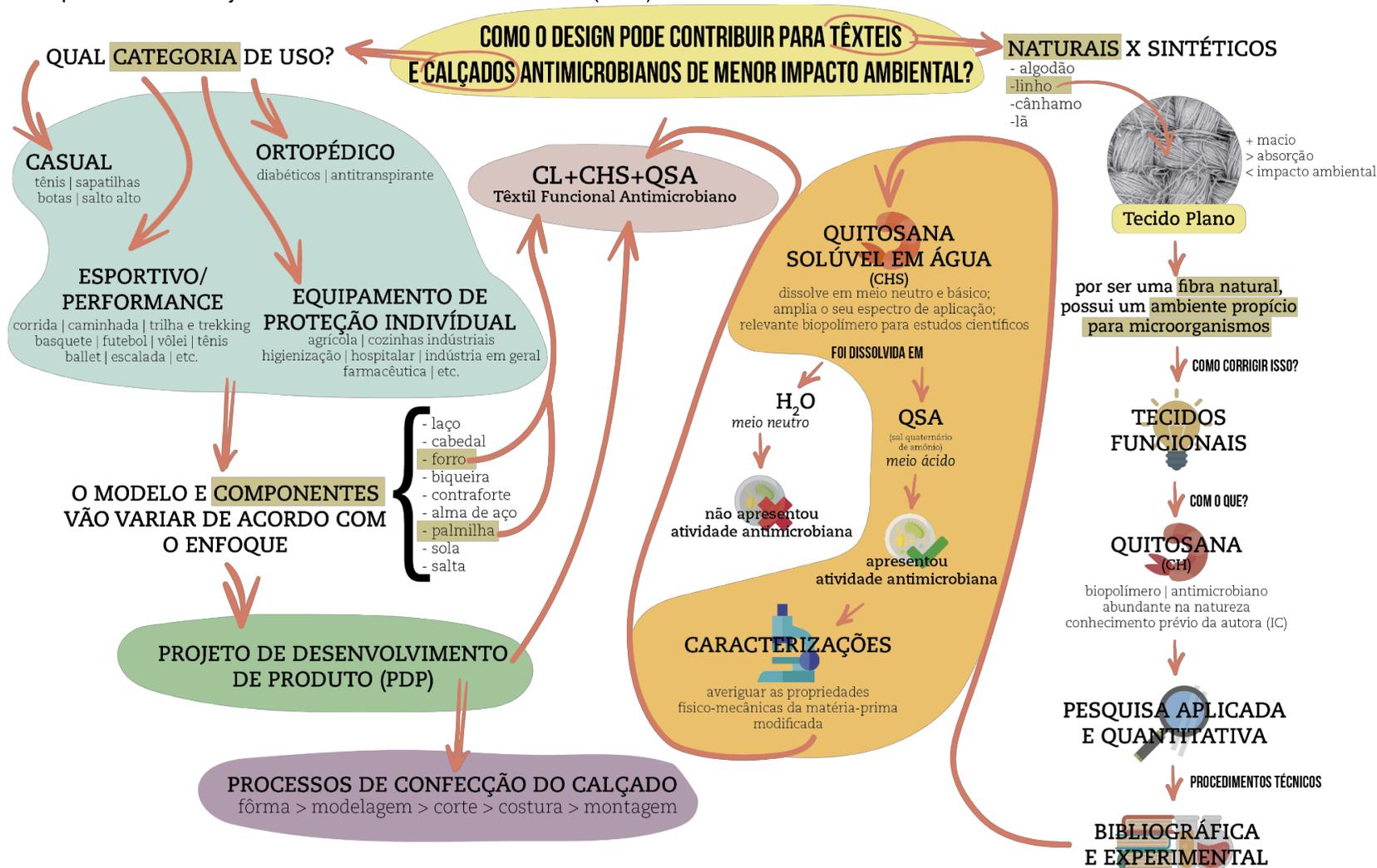
6 PROJETO DE PRODUTO APLICADO À CALÇADOS

A última etapa proposta para essa dissertação entra com uma proposta de Projeto de Desenvolvimento de Produto (PDP). O objetivo nessa etapa é de uma sugestão de aplicação da matéria-prima manipulada durante todo o período de pesquisa na Indústria Calçadista como um possível componente. De primeiro momento, estabeleceu-se os requisitos do projeto, sendo:

- I. Requisitos técnicos: o objeto a ser projetado deve conter dentro das seleções de seus componentes a matéria-prima modificada do linho com quitosana solúvel em água.
- II. Requisitos funcionais: o componente a ter a matéria-prima modificada deve valorizar a funcionalidade antimicrobiana atribuída.
- III. Requisitos estéticos: o produto deve ser qualificado confortável em termos térmicos e perceptivo ao toque.

Em sequência, realizou-se um levantamento em torno dos setores e categorias dentro da indústria calçadista de possível aplicação da matéria prima. A seguir, apresenta-se em formato de mapa mental (Fig. 40) a configuração do levantamento encontrado.

Figura 40 - Mapa mental do Projeto de Desenvolvimento de Produto (PDP).



Fonte: elaborado pela autora (2019).

O mapa mental desenvolvido apresenta a o desenvolvimento e a abrangência da aplicabilidade do tecido funcional antimicrobiano. A junção entre as áreas da moda sugeridas como proposta de projeto científico mostra a alta complexidade do projeto a ser desenvolvido, uma vez que carece de agentes de distintas áreas do conhecimento, ou seja, uma equipe multidisciplinar, para o resultado ser satisfatório.

Dijon (2010) reforça que o cenário contemporâneo é cada vez mais complexo, fluído e dinâmico, portanto, há uma necessidade em estimular o mercado constantemente por meio da inovação e, “dessa forma, disciplinas como o design, pelo seu caráter holístico, transversal e dinâmico se posicionam como alternativas possíveis na aproximação de uma correta decodificação dessa realidade contemporânea” (DE MORAES, 2010, p. 10).

Em termos de aplicação da matéria-prima, selecionou-se os componentes de forro e cabedal devido à conjuntura do tecido quando planejado, uma vez que o objeto modificado é caracterizado como um tecido plano, portanto não se adequaria em ser aplicado em outros componentes do calçado.

As categorias de projeto de calçados selecionadas e descritas no mapa mental (Casual, Ortopédico, Esportivo/Performance, Equipamento de proteção individual) refletem na funcionalidade atribuída ao tecido, uma vez que temos fatores relevantes para a sua aplicação, como:

- I. Tipo de função de uso;
- II. Modelo do calçado selecionado;
- III. Especificação dos componentes necessários para esse modelo;
- IV. Público-alvo;
- V. Levantamento de fornecedores;
- VI. Etc.

Esses fatores citados mostram o quão relevante é a metodologia de projeto aplicada, por realizarmos o levantamento de informações que moldam a base do processo de projeto e contribui para que designers forneçam produtos/serviços que englobe as esferas econômicas, sociais e ambientais adequadamente.

Kutnjak-Mravlinčić *et al.* (2019) realizaram um levantamento sobre como a funcionalidade e a aparência são aspectos chave para o desenvolvimentos de bons calçados e como essas questões moldam algumas marcas. Os autores completam que existe um desenvolvimento e progresso considerável em termos de tecnologia química na área, mas também outras tecnologias funcionais se tornaram exigidas no setor graças às inovações e investigações em torno da temática.

Sánchez-Navarro *et al.* (2013) completam que o setor calçadista trabalha constantemente em aprimorar todos os fatores que influenciam o conforto, tempo de vida ou mal odor do produto. Para isso, é necessário o uso de novos materiais com novas funcionalidades para compreender a maneira que os componentes do calçado reagem à essas mudanças.

O intuito desse pontapé inicial em torno da discussão e temática sobre como nós, designers e pesquisadores, podemos contribuir no desenvolvimento de materiais e projetos de menor impacto ambiental mostra o quão complexo é mudar e adequar as cadeias industriais envolvidas de acordo com as necessidades ambientais e sociais.

Por fim, tendo em vista que o foco é aplicar um tecido antimicrobiano como componente de calçado, as caracterizações realizadas apresentaram alguns resultados benéficos para esse tipo de proposta, uma vez que a funcionalidade do material foi comprovada, tanto no ensaio antimicrobiano, quanto na visualização do biopolímero incorporado na microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Essas informações trazem indícios interessantes para a continuação da pesquisa dentro da indústria têxtil e calçadista, uma vez que ambas atuam constantemente em pesquisa e desenvolvimento de materiais para melhoria de produtos e serviços para usuários finais.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa conseguiu cumprir satisfatoriamente o seu objetivo geral, que era a modificação superficial do tecido de linho, a partir de revestimentos de quitosana solúvel em água, para o design de têxteis antimicrobianos.

Quanto aos seus objetivos específicos, a partir da organização metodológica descrita pode-se considerar satisfatória, uma vez que iniciou-se no pré-tratamento do substrato têxtil do linho para aderir o biopolímero de quitosana em sua superfície, em seguida, os procedimentos técnicos laboratoriais em torno da solução de quitosana em diferentes concentrações e suas respectivas caracterizações para avaliar o comportamento do material têxtil puro e sua respectiva modificação. Por fim, um levantamento de possíveis campos de atuação do designer em torno do setor calçadista associado ao tecido modificado.

Com isso, as principais conclusões da pesquisa são destacadas:

- Os resultados indicaram que uma parte da atividade antimicrobiana atribuída à quitosana é na realidade incorporada pelo ácido usado para a preparação de sua solução aquosa;
- Apesar de demonstrar menor atividade antibacteriana, o trabalho com a quitosana solúvel em água é bastante relevante devido às limitações em termos de aplicação da quitosana insolúvel em água;
- Grande parte da literatura reporta outras entidades para, em sinergia com a quitosana solúvel em água, acentuar as propriedades antibacterianas dela;
- A concentração da solução de quitosana solúvel em água é um parâmetro diretamente proporcional à atividade antimicrobiana da solução obtida;
- A redução das propriedades mecânicas no tecido de linho modificado é um inconveniente que precisa ser superado;
- O sal quaternário de amônio adicionado à quitosana solúvel em água cumpriu seu papel de incorporar atividade antimicrobiana à solução, porém os resultados de medida de ângulo de contato e a literatura sugerem que tais

reagentes devem ser usados para modificar quimicamente a quitosana ao invés de servir como aditivo;

- E por fim, a abrangência do campo de atuação em torno de um desenvolvimento de projeto de produto voltado para os calçados.

A contribuição desse trabalho para a literatura se encontra na associação de diferentes áreas do conhecimento (Design e Materiais). O domínio do profissional e pesquisador designer perante a essa temática promove um diálogo mais coerente no desenvolvimento projetual de produtos/serviços para os usuários, conseguindo sanar as esferas econômicas, sociais e ambientais de forma mais equilibrada.

8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir do desenvolvimento deste trabalho, sugerem-se alguns desdobramentos a partir da sua conclusão. A seguir, algumas sugestões de trabalho que possam complementá-lo:

- 1) Pela revisão bibliográfica, há distintas sugestões de manipulação da quitosana em diferentes etapas do processamento têxtil;
- 2) A matéria prima manipulada tem grande potencial de estudo e aplicação em outros objetos na área da moda e distintos setores de aplicação (esportivo, médico etc.);
- 3) Pesquisas futuras podem envolver o desenvolvimento de um calçado com o material inserido em um componente, para testar sua biocompatibilidade com seres humanos e aceitabilidade com potencial público consumidor;
- 4) Além disso, estudos pela técnica de termografia infravermelha pode possibilitar o estudo do conforto térmico do material quando inserido como componente do calçado;
- 5) Averiguar novas estratégias para estudos futuros com a quitosana solúvel em água, notando seu potencial de análise dentro da indústria têxtil;
- 6) A pesquisa atingiu um resultado satisfatório em nível laboratorial, por isso, uma sugestão é que em trabalhos futuros façam-se uma análise comparativa dos procedimentos realizados em nível industrial para confirmar a viabilidade de implementação da proposta nesse aspecto.

9 REFERÊNCIAS

ABDELHADY, M. M.; **Preparation and characterization of chitozan/zinc oxide nanoparticles for imparting antimicrobial and UV protection to cotton fabric.** International Journal of Carbohydrate Chemistry, v. 2012, 2012.

ABDEL-HALIM, E. S.; ABDEL-MOHDY, F.A.; AL-DEYAB, S. S.; EL-NEWEHY, M. H. **Chitosan and monochlorotriazinyl- β -cyclodextrin finishes improve antistatic properties of cotton/polyester blend and polyester fabrics.** Carbohydrate polymers, v. 82, p. 202-208, 2010.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Estudos setoriais de inovação:** transformados plásticos. Brasília: 2009, 63 p.

AHMED, Shakeel; IKRAM Saiqa. Chitin and chitosan: history, composition and properties in AHMED, Shakeel; IKRAM, Saiqa. **Chitosan:** derivatives, composites and applications. United States: John Wiley & Sons, 2017.

AMARAL, Gilmar do; SOUZA, André H. C. Botto e. **Guia Ambiental da indústria de transformação e reciclagem de materiais plásticos.** São Paulo: CETESB, SINDIPLAST, 2011.

AMERICAN ASSOCIATION OF TEXTILE CHEMISTS AND COLORISTS. **AATCC 147-2011:** Antibacterial Activity Assessment of Textile Materials: parallel streak method. United States: 2011

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-2261-13:** Standard Test Method for Tearing Strength of Fabrics by the Tongue (Single Rip) Procedure (Constant-Rate-of-Extension Tensile Testing Machine). United States: 2013.

ANDREEßEN, C.; STEINBÜCHEL, A. **Recent developments in non-biodegradable biopolymers:** precursors, production processes, and future perspectives. Applied Microbiology and Biotechnology, 2018.

ANTONIOU, J. *et al.* **Physicochemical and thermomechanical characterization of tara gum edible films:** Effect of polyols as plasticizers. Carbohydrate Polymers, v. 111, p. 359-365, 2014.

ARIK, B; YAVAS, A; AVINC, O. **Antibacterial and wrinkle resistance improvement of nettle biofiber using chitosan and BTCA.** Fibers and textiles, v. 25, p. 106-111, 2017.

ASHBY, Michael; JOHNSON, Kara; tradução MARQUES, Arlete Simille. **Materiais e design:** arte e ciência da seleção de materiais no design de produto. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE CALÇADOS. **Relatório anual de atividades 2018.** Novo Hamburgo: 2018, 72p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO. **Relatório de atividades**. São Paulo: 2013, 29p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6467**: Agregados – determinação do inchamento de agregado miúdo. Rio de Janeiro: 1997.

BAHMANI, S. A.; EAST, G. C.; HOLME, I. **The application of chitosan in pigment printing**. Journal of Society of dyers and colourists, v. 116, p. 95-101, 2000.

BAXTER, Mike; tradução IIDA, Itiro. **Projeto de produto**: guia prático para design de novos produtos. 2ª edição. São Paulo: Editora Blucher, 2000.

BHUIYAN, M. A. R.; SHAID, A.; KHAN, M. A. **Cationization of cotton fiber by chitosan and its deying with reactive dye without salt**. Chemical and Materials Engineering, v. 2, p. 96-100, 2014.

BHUIYAN, M. A. R.; HOSSAIN, M. A.; ZAKARIA, M.; ISLAM, M. N.; UDDIN, M. Z. **Chitosan coated cotton fiber: physical and antimicrobial properties for apparel use**. Journal of Polymers and the Environment, v. 25, p. 334-342, 2017.

BHAMRA, Tracy; LOFTHOUSE, Vicky. **Design for sustainability**: a practical approach. England: Gower, 2007.

BOMFIM, Gustavo A. **Metodologia para desenvolvimento de projeto**. João Pessoa: Universitária/UFPB, 1995.

BONILLA, F.; CHOULJENKO, A.; LIN, A.; YOUNG, B. M.; GORIBIDANUR, T. S.; BLAKE, J. C.; BECHTEL, P. J.; SATHIVEL, S. **Chitosan and water-soluble chitosan effects on refrigerated catfish fillet quality**. Food Bioscience, v. 31, 2019.

BRAUTIGAM, I.; HERMES, F. **Cosmetic composition**. Depositante: KPSS-KAO Professional Salon Services GMBH. 11/423,730. Depósito: 14 jun. 2005. Concessão: 13 jun. 2006. Estados Unidos, 2006.

BROOKS, Andrew. **Clothing poverty**: the hidden world of fast fashion and second hand clothes. London: Zed Books, 2015.

CALLISTER JR, William D.; RETHWISCH, David G. **Materials Science and engineering**: an introduction. 8th edition. United States of America: John Wiley & Sons, 2009.

CANTO, B. L.; PESSAN, L. A. Resistência à tração, reflexão e compressão in **Técnica de Caracterização de Polímeros**. São Paulo: Artliber Editora, 2003. 435p. In: CANEVALORO JUNIOR, S. V. Técnicas de caracterização de polímeros. São Paulo: Artliber, 2007.

CARDOSO, Rafael. **Design para um mundo complexo**. São Paulo: Ubu Editora, 2016

CARVALHAL, André. **Moda com propósito**: manifesto pela grande virada. São Paulo: Paralela, 2016.

CERKEZ, I.; KOCER, H. B.; WORLEY, S.D.; BROUGHTON, R. M.; HUANG, T.S. **Multifunctional Cotton Fabric**: antimicrobial and durable press. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 124, p. 4230-4238, 2011.

CHATTOPADHYAY, D.; INMADAR, M. S. **Improvement in properties of cotton fabric through synthesized nano-chitosan application**. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, v. 38, p. 14-21, 2013.

CHEN, G.; HAASE, H.; MAHTIG, Boris. **Chitosan-modified sílica sol applications for the treatment of textile fabrics**: a view on hydrophilic, antistatic and antimicrobial properties. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, v. 91, p. 461-470, 2019.

CHOKLAT, Aki. **Design de sapatos**. São Paulo: Editora Senac, 2012.

COTRIM, Monique de Alvarenga Pinto. **Design de tecidos funcionais**: uma visão inovadora sobre complexação de óleo de capim limão (*Cymbopogon citratus*) com α -ciclodextrina. / Monique de Alvarenga Pinto Cotrim. --2015. 87 f., enc.; il. Orientadora: Eliane Ayres. Coorientadora: Janaina Cecília Oliveira Villanova Konishi. Área de concentração: Design, Materiais, Tecnologia e Processos. Dissertação (mestrado) – Universidade do Estado de Minas Gerais, Escola de Design.

DE MORAES, Dijon. **Metaprojeto**: o design do design. São Paulo: Editora Blucher, 2010.

DHIMAN, G.; CHAKRABORTY, J. N. **Assessment of durable press performance of cotton finished with modified DMDHEU and citric acid**. *Fashion and textile*, p. 4-18, 2017.

EYUPOGLU, Seyda; MERDAN, Nigar. Eco-friendly production methods textile wet processes in MUTHU, S. S. **Sustainable Innovations in Textile Chemical Processes**. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2018.

FASHIONARY. **Shoe design**: a handbook for footwear designers. China: Fashionary International Ltd., 2016.

FLETCHER, Kate; GROSE, Lynda. **Fashion and sustainability**: design for change. London: Laurence King Publishing Ltd, 2012.

FLETCHER, Kate. **Sustainable fashion and textiles**: design journeys. Second edition. London: Routledge – Taylor & Francis Group, 2014.

FLUSSER, Vilém; tradução ABI-SÂMARA, Raquel. **O mundo codificado**: por uma filosofia do design e da comunicação. São Paulo: Cosac Naify, 2013.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4ª edição. São Paulo: Editora Atlas, 2004.

GOMES FILHO, João. **Design do objeto: bases conceituais**. São Paulo: Escrituras Editora, 2006.

GONÇALVES, Maria do Carmo. Microscopia eletrônica de varredura. In: CANEVAROLO JUNIOR, S. V. **Técnicas de caracterização de polímeros**. São Paulo: Artliber, 2007.

GOUDA, M.; KESHK, S. M. A. S. **Evaluation of multifunctional properties of cotton fabric based on metal/chitosan film**. Carbohydrate Polymers, v. 80, p. 504-512, 2010.

HABEEBA, A. A. U.; RESHMI, C. R.; SUJITH, A. **Chitosan Immobilized Cotton fibers for antibacterial textile materials**. Polymers from Renewable Resources, v. 8, n. 2, p. 61-70, 2017.

HEBDEN, A. J.; GOSWAMI, P. Textile finishing. IN CASSEDY, T.; GOSWAMI, P. **Textile and clothing design technology**. New York: Taylor & Francis Group, 2018.

HEBEISH, Ali; HIGAZY, Asha; EL-SHAFAEI, Amira. **New sizing agentes and flocculantes derived from chitosan**. Starch-Stärke, v. 58, p. 401-410, 2006.

HESKETT, John; tradução FERNANDES, Fábio. **Desenho Industrial**. 4ª edição. Rio de Janeiro: José Olympio Editora, 2012.

_____. **Design: a very short introduction**. New York: Oxford University Press, 2005.

INANOVA, Nina A. RUTBERG, Galina I.; PHILIPCHENKO, Anatoly B. **Enhancing the 1)º superhydrophobic state estability of chitosan-based coating for textiles**. Macromolecular, Chemistry and Physics Journal, v. 214, p. 1515-1521, 2013.

INSECTA SHOES. Sobre. **Insectashoes. com**. Disponível em: < <https://www.insectashoes.com/p/sobre>>. Acesso em: 02 fev. 2018.

_____. Nossa história. **Insectashoes. com**. Disponível em: < <https://www.insectashoes.com/p/nossa-historia>>. Acesso em: 02 fev. 2018.

_____. Design & conforto. **Insectashoes. com**. Disponível em: < <https://www.insectashoes.com/p/design-e-conforto>>. Acesso em: 02 fev. 2018.

_____. Por que fazemos o que fazemos?. **Insectashoes. com**. Disponível em: < <https://www.insectashoes.com/p/por-que-fazemos>>. Acesso em: 02 fev. 2018.

_____. Sustentabilidade no dia-a-dia. **Insectashoes. com**. Disponível em: < <https://www.insectashoes.com/p/sustentabilidade>>. Acesso em: 02 fev. 2018.

_____. Feito no Brasil. **Insectashoes. com**. Disponível em: <<https://www.insectashoes.com/p/feito-no-brasil>>. Acesso em: 02 fev. 2018.

ISLAM, Shahid-ul; SHABBIR, Mohd; MOHAMMAD, Faqeer. Insights into the Functional Finishing of Textile Materials using Nanotechnology. In: MUTHU, S. S. **Textiles and Clothing Sustainability: Nanotextiles and Sustainability: Nanotextiles and Sustainability**. Springer, 2017.

JABASING, S. A.; SAHU, P.; YIAMAM, A. **Enviro-friendly biofinishing of cotton fibers using *Aspergillus nidulans* AJSU04 cellulases for enhanced uptake of Myrobalan dye from *Terminalia chebula***. Dyes and Pigments, v. 129, p. 129-140, 2016.

KAHYA, Nilay. **Water soluble chitosan derivatives and their biological activities: a review**. I MedPub Journals, v. 4, n.2:16, p.1-11, 2018.

KAWANO, Yoshio. Espectroscopia de absorção no infravermelho. In: CANEVAROLO JUNIOR, S. V. **Técnicas de caracterização de polímeros**. São Paulo: Artliber, 2007.

KUTNJAK-MRAVLIČIĆ, S.; AKALOVIĆ, J.; BISCHOF, S. **Merging footwear design and functionality**. AUTEX Research Journal, 2019.

LARANJEIRA, M. C. M.; FÁVERE, V. T. **Quitosana: biopolímero funcional com potencial industrial biomédico**. Química Nova, v. 32, p. 672-678, 2009.

LI, N.; XIONG, X.; HA, X.; WEI, X. **Comparative preservation effect of water-soluble and insoluble chitosan from *Tenebrio molitor* waste**. International Journal of Biological Macromolecules, v. 133, p. 165-171, 2019.

LIGER, Ilce. **Modelagem de calçados: técnicas e passo a passo**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2015.

LIM, Sang-Hoon; HUDSON, Samuel M. **Review of Chitosan and Its Derivatives as Antimicrobial Agents and Their Uses as Textile Chemicals**. Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews Vol. C43, No. 2, p. 223–269, 2003.

LIMA, Marco Antônio Magalhães. **Introdução aos materiais e processos para designers**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2006.

LÖBACH, Bernd; tradução van CAMP, Freddy. **Design industrial: bases para a configuração dos produtos industriais**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 2001.

LOPES, L. A. C.; VIELMO, A. S. L. MADUREIRA, M. C. **Análise e reconhecimento de materiais têxteis**. 2ª Edição. Rio de Janeiro: SENAI/CETIQT, 2010.

MANO, Eloisa Biasotto; MENDES, Luís Cláudio. **Identificação de plásticos, borrachas e fibras**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1999.

MANZINI, Ézio. VEZZOLLI, Carlo. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais.** São Paulo: Ed. Universidade de São Paulo, 2008

MOURYA, V.K.; INAMDAR, N. N. **Chitosan-modifications and applications: Opportunities galore.** *Reactive & Functional Polymers*, v. 68, p. 1013–1051, 2008.

MUJTABA, M.; SALABERRIA, A.M.; ANDRES, M.A.; KAYA, M.; GUNYAKTI, A.; LABIDI, J. **Utilization of flax (*Linum usitatissimum*) cellulose nanocrystals as reinforcing material for chitosan films.** *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 104, p. 944-952, 2017.

MUZZAFAR, S.; BHATTI, I.A.; ZUBER, M.; BHATTI, H.N.; SHAHID, M. **Study of the UV protective and antibacterial properties of aqueous polyurethane dispersions extended with low molecular weight chitosan.** *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 94, p. 51-60, 2017.

NIAONAKIS, MICHAEL. **Biopolymers: applications and trends.** Oxford: William Andrew, 2015.

PAGNAN, Caroline Salvan. **Percepção do usuário frente a produtos fabricados via impressão 3D em PLA colorido com masterbatch de urucum (*Bixa Orellana L.*).** 2018, 149 f. Tese (Doutorado em Design) – Programa de Pós-graduação em Design, Universidade do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

PAN, Ying; ZHAO, Hongting. **A novel blowing agente polyelectrolyte for fabricating intumescente multilayer coating that retards fire on cotton fabric.** *Journal of applied Polymer Science*, v. 135, 2018.

PAZIMINO, Ana Veronica. **Como se cria: 40 métodos para design de produtos.** São Paulo: Blucher, 2015.

PEZZOLO, Dinah. **Tecidos: história, tramas, tipos e usos.** 4ª edição. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2013.

PORTAL DA INDÚSTRIA. **Produtividade na indústria: produtividade volta a crescer, mas em ritmo lento.** Brasília: 2019, 4p.

RAZA, Z. A.; BILAL, U.; NOREEN, U.; MUNIM, S. A.; RIAZ, S.; UMAR, M.; ABID, S. **Chitosan mediated formation and impregnation of silver nanoparticles on viscose fabric in single bath for antibacterial performance.** *Fibers and polymers*, v. 20, n. 7, p. 1360-1367, 2019.

REHAN, M.; EL-NAGGAR, M.E.; MASHALY, H.M.; WILKEN, R. **Nanocomposites based on chitosan/silver/clay for durable multi-functional properties of cotton fabrics.** *Carbohydrate Polymers*, v. 182, p. 29-41, 2018.

ROSHAN, Paul. High performance technical textiles: na overview in **High performace technical textile**. USA: Wiley, 2019, 503p. in ROSHAN, Paul. High performace technical textile. USA: Wiley, 2019.

ROY, J.; SALAÜN, F; GIRAUD, S.; FERRI, A.; GUAN, J. Chitosan-based sustainable textile technology: process, mechanism, innovation, and safety.in SHALABY, Emad. **Biological activities and application of marine polyscchariedes**. London: IntechOpen Limited, 2017.

SALCEDO, Elena; tradução FRACALOSSI, Denis. **Moda ética para um futuro sustentável**. São Paulo: Editora G. Gilli, 2014.

SAMANTA, K. K.; BASAK, S.; CHATTOPADHYAY, S. K. Potential of ligno-cellulosic and protein fibres in sustainable fashion in MUTHU, S. S. **Sustainable fibers for fashion industry**. Singapore: Springer Science Business Media, 2016.

SÁNCHEZ-NAVARRO, M.M.; PÉREZ-LIMIÑANA, M.A.; CUESTA-GARROTE, N.; MAESTRE-LÓPEZ, M.I.; BERTAZZO, M.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, M.A.; ORGILÉS-BARCELÓ, C.; ARÁN-AÍS, F. Latest developments in antimicrobial functional materials for footwear in **Microbial pathogens and strategies for combating them: Science, technology and education**. Spain, Formatex, 2013. In: Microbial pathogens and strategies for combating them: Science, technology and education. Spain: Formatex, 2013.

SASHIWA, H.; KAWASAKI, N.; NAKAYAMA, A.; MURAKI, E.; YAMAMOTO, N.; AIBA, S. **Chemical modification of chitosan. 14:1Synthesis of water-soluble chitosan derivatives by simple acetylation**. Biomacromolecules, v.3, p. 1126-1128, 2002.

SATYANARAYANA, Kestur G.; ARIZAGA, Gregorio G.C.; WYPYCH, Fernando. **Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers: An overview**. Progress in Polymer Science, v. 34, p. 982-1021, 2009.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. **Processos produtivos têxteis**. São Paulo: Editora Senai SP, 2016.

_____. **Tecelagem**. São Paulo: Editora Senai SP, 2015.

_____. **Tecnologia dos processos têxteis**. São Paulo: Editora Senai SP, 2015.

SENAI MIX DESIGN. **Manual técnico têxtil e vestuário: fibras têxteis**. São Paulo: FIESP e SENAI, 2015. Disponível em: <https://issuu.com/senaitextilvestuario/docs/manual1_fibras/2?ff=true&e=13219499/11203700>. Acesso em: 17 jul. 2018.

_____. **Manual técnico têxtil e vestuário: fios têxteis**. São Paulo: FIESP e SENAI, 2015. Disponível em: <

https://issuu.com/senaitextilvestuario/docs/manual2_fios/1?ff=true&e=13219499/34555524>. Acesso em: 17 jul. 2018.

_____. **Manual técnico têxtil e vestuário: tecelagem**. São Paulo: FIESP e SENAI, 2015. Disponível em: <https://issuu.com/senaitextilvestuario/docs/manual04_tecelagem/4?ff=true&e=13219499/34555306>. Acesso em: 17 jul. 2018.

SHABBIR, M.; YUSUF, M. MOHAMMAD, F. **Insights into functional finishing agentes for textile applications**. Studium Press, 2019.

SHAHID, ISLAM-UH; BUTOLA, B.S. **Recent advances in chitosan polysaccharide and its derivatives in antimicrobial modification of textile materials**. International Journal of Biological Macromolecules, v. 121, p. 905-912, 2019.

SHEIKH, Javed; BRAHMECHA, Indrajit. **Multifunctional modification of linen fabric using chitosan-based formulations**. International Journal of Biological Macromolecules, 2018.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia e elaboração de dissertação**. 4ª edição. Florianópolis: UFSC, 2005.

SLATER, K. **Environmental impact of textiles: production, processes and protection**. Flórida: Woodhead Publishing Ltd., 2003.

SORGER, Richard; UDALE, Jenny; Tradução: FIGUEIREDO, Joana; AFLALO, Diana. **Fundamentos de design de moda: desenvolvendo UMA coleção**. Porto Alegre: Bookman, 2009.

STAN, M. S.; BADEA, M. A.; PIRCALABIORU, G. G.; CHIFIRIUC, M. C.; DIAMANDESCU, L.; DIMITRESCU, I. TRICA, B.; LAMBERT, C.; DINISCHIOTU, A. **Designing cotton fibers impregnated with photocatalytic graphene oxide/Fe, N-doped TiO₂ particles as prospective industrial self cleaning and biocompatible textiles**. Materials, Science & Engineering, v. 94, p. 318-332, 2018.

STEGMAIER, T.; WUNDERLICH, W.; HAGER, T. SIDDIQUE, A.B.; SARSOUR, J.; PLANCK, H. **Chitosan, a sizing agent in fabric production: development and ecological evaluation**. Clean, v. 36, p. 279-286, 2008.

TAMAYO, L.; AZÓCAR, M.; KOGAN, M.; RIVEROS, A.; PÁEZ, M. **Cooper-polymer nanocomposites: an excellent and cosf-effective biocide for use on antibacterial surfaces**. Materials Science and Engineering, v. 69, p. 1391-1409, 2016.

TANG, R.; YU, Z.; ZHANG, Y.; QI, C. **Synthesis, characterization, and properties of antibacterial dye based on chitosan**. Cellulose, v. 23, p. 1741–1749, 2016.

THAKORE, K. A.; ABATE, B. **Application of ultrasound in the pretreatment of cotton fabric**. Cellulose, Chemistry and Technology, v. 51, p. 983-992, 2017.

TRINDADE, Clara de Melo; ROCHA, Gabriele Abreu; AYRES, Eliane. **Preparação de films bioativos a partir de quitosana reticulada e sua aplicação para aumentar a vida de prateleira do morango (*Fragaria ananassa*)**. Anais do 14º Congresso Brasileiro de Polímeros. Águas de Lindóia, São Paulo, 2017.

TRIPATHI, R.; NARAYAN, A.; BRAMHECHA, I.; SHEIKH, J. **Development of multifunctional linen fabric using chitosan film as a templates for immobilization of in-situ generated CeO₂ nanoparticles**. International Journal of Biological Macromolecules, v. 121, p. 1154-1159, 2019

van den BROEK, L. A. M; KAPPEN, F. H. J.; KNOOP, R. J. I.; BOERIU, C. G. **Chitosan films and blends for packaging material**. Carbohydrate Polymers 116 (2015) 237-242.

VELICKOVA, E.; WINKELHAUSEN, E.; KUZMANOVA, S.; ALVES, V.D.; MOLDÃO-MARTINS, M. **Impact of chitosan-beeswax edible coatings on the quality of fresh strawberries (*Fragaria ananassa* cv Camarosa) under commercial storage conditions**. LWT. Food Science and Technology, v. 52, p. 80-92, 2013.

QIN, C.; HUIRONG, L.; XIAO, Q.; JUNCHENG, Z.; YUMIN, D. **Water-solubility of chitosan and its antimicrobial activity**. Carbohydrate Polymers, v. 63, p. 367-374, 2006.

WANG, C.C.; LIN, L.H.; CHEN, C.W.; LO, Y.C. **Surface modification of poly(lactic acid) fabrics with plasma pretreatment and chitosan/siloxane polyesters coatings for color strength improvement**. Polymers, v. 9, p. 1-11, 2017.

WANG, C.H.; LIU, W.S.; SUN, J.F.; HOU, G.G.; CHEN, Q.; CONG, W.; ZHAO, F. **Non-toxic O-quaternized chitosan materials with better water solubility and antimicrobial function**. International Journal of Biological Macromolecules, v. 84, p. 418-427, 2015.

WILKES, Sarah; WONGRIRUKSA, Supinya; HOWES, Philip; GAMESTER, Richard; CONREEN, Martin; LAUGHLIN, Zoe; MIODOWNIK, Mark. **Design tools for interdisciplinary translation of material experiences**. Materials and Design, v. 90, p. 1228-1237, 2016.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. **Our Common Future**. Disponível em: <<http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>>. Acesso em: 30 jul. de 2018.

WORLD DESIGN ORGANIZATION. **Definition of industrial design**. Wdo.org. Disponível em <wdo.org/about/definition/>. Acesso em: 30 mai. de 2018. mai. de 2018.

XIE, Y.; LIU, X.; CHEN, Q. **Synthesis and characterization of water-soluble chitosan derivate and its antibacterial activity.** Carbohydrate Polymers, v. 69, p. 142-147, 2007.

XU, L.; ZHANG, N.; WANG, Q.; YUAN, J.; Y, Y.; WANG, P. FAN, X. **Ecofriendly grafting of chitosan as a biopolymer onto wool fabrics using horseradish peroxidase.** Fibers and polymers, v. 20, p. 261-270, 2019.

XU, Q.; KE, X.; SHEN, L.; GE, N.; ZHANG, Y.; FU, F.; LIU, X. **Surface modification by carboxymethy chitosan via pad-dry-cure method for binding Ag NPs onto cotton fabric.** International Journal of Biological Macromolecules, v. 111, p. 796-803, 2018.