

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

JAQUELINE APARECIDA PINHEIRO

**ESTUDO SOBRE A INFLUÊNCIA DA ENGOMAGEM NA MELHORA
DA RESISTÊNCIA A RUPTURA DE FIOS 100% ALGODÃO DESTINADOS A
TECELAGEM**

APUCARANA

2023

JAQUELINE APARECIDA PINHEIRO

**ESTUDO SOBRE A INFLUÊNCIA DA ENGOMAGEM NA MELHORA
DA RESISTÊNCIA A RUPTURA DE FIOS 100% ALGODÃO DESTINADOS A
TECELAGEM**

**Study on the Influence of Sizing on Improvement
Resistance to Breakage Of 100% Cotton Yarn Intended for Weaving**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Têxtil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof.º Dr. Fabio Alexandre Pereira Scacchetti.
Coorientador: Prof.º Dr. Flávio Avanci De Souza.

APUCARANA

2023



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



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Apucarana



COENT – Coordenação do curso superior em Engenharia Têxtil

TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso:

**ESTUDO SOBRE A INFLUÊNCIA DA ENGOMAGEM NA MELHORA
DA RESISTÊNCIA A RUPTURA DE FIOS 100% ALGODÃO DESTINADOS A
TECELAGEM**

Por

JAQUELINE APARECIDA PINHEIRO

Monografia apresentada às 13 horas do dia 16 de JUNHO de 2023, como requisito parcial, para conclusão do Curso de Engenharia Têxtil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Apucarana. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerada **APROVADA**.

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

PROFESSOR(A) FLÁVIO AVANCI DE SOUZA – COORIENTADOR(A)

PROFESSOR (A) VALQUIRIA APARECIDA DOS SANTOS RIBEIRO –
EXAMINADOR(A)

PROFESSOR(A) LEANDRO VICENTE GONÇALVES – EXAMINADOR(A)

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

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço ao meu orientador Prof.º Dr. Fabio Alexandre Pereira Scacchetti, pela paciência e pela ajuda que me deu durante a realização deste trabalho, e principalmente pela coragem de aceitar fazer deste projeto que sabíamos que iria ser trabalhoso. E ao meu coorientador Prof.º Dr. Flávio Avanci De Souza, que chegou não só trazendo sua sabedoria como também sua boa vontade em ajudar.

Aos professores da banca Prof.^a Dr.^a Valquiria Aparecida dos Santos Ribeiro e Prof.º Dr. Leandro Vicente Gonçalves, por terem aceitado o convite e pelas sugestões feitas.

Agradeço também aos meus amigos, aqueles que estiveram comigo desde o começo, e também aos que chegaram depois, por sua torcida e apoio durante todo o tempo que estive realizando este trabalho.

Um amigo em especial, que se tornou meu companheiro para a vida, meu namorado Luis Kendi Watanabe, que esteve comigo me apoiando desde o começo, me apoiando e me ajudando durante todas as fases deste projeto.

A todos os professores que conheci durante essa jornada, por todo esforço, dedicação e conhecimentos transmitidos

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

A engomagem é uma das operações mais importantes no setor da tecelagem, principalmente em relação as fibras de algodão. Seu objetivo é melhorar a resistência a ruptura dos fios e resistência a abrasão, e isso pode ser obtido utilizando-se diversos tipos de produtos, como gomas de origem natural e sintéticas. Otimizar a engomagem considerando o nível ótimo de carga de goma, pode levar a uma diminuição dos custos do processo e ao maior aproveitamento da capacidade operacional da sala de tecelagem. O estudo teve como objetivo avaliar a influência da carga de goma na melhoria da resistência dos fios, se valendo de um estudo estatístico. As análises estatísticas comprovaram que os fios engomados apresentaram maior carga de ruptura.

Palavras-chave: engomagem; resistência; tecelagem; análise de variância.

ABSTRACT

Sizing is one of the most important operations in the weaving sector, especially in relation to cotton fibers. Its objective is to improve the resistance to breakage of the yarns and this can be obtained using different types of products, such as gums of natural and synthetic origin. Optimizing the sizing considering the optimal level of starch load can lead to a decrease in process costs and a better use of the operational capacity of the weaving room. The study aimed to evaluate the influence of the load of gum in the improvement of the resistance of the threads, using a statistical study. Statistical analyzes verified that the starched yarns had a higher breaking load.

Keywords: sizing; resistance; optimization; weaving; analysis of variance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - capilaridade do fio antes (esquerda) e após a engomagem (direita).	13
Figura 2 - Representação do processo de engomagem.....	14
Figura 3 - Curva de engomagem	15
Figura 4 - Curva típica de cozimento (viscosidade) para o amido.....	16
Figura 5 - Morfologia da fibra de algodão	19
Figura 6 - Fluxograma da fiação	20
Figura 7 - Impressão de carbono obtida do teste de nip.	24
Figura 8 - Sistema para cozimento da goma em bancada	25
Figura 9 - Processo de engomagem e dispositivos adaptados.....	26
Figura 10 - Secagem em rama	27
Figura 11 – Tenacidade das amostras.....	31
Figura 12 – Teste de Tukey.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de engomantes	15
Tabela 2 - Resultados de <i>pick-ups</i> obtidos	27
Tabela 3 - Percentual de carga de goma no fio	28
Tabela 4 - Resultados obtidos para o teste de resistência a tração	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRAPA	Associação Brasileira dos Produtores de Algodão
ASTM	American Society for Testing and Materials
CMC	Carboximetilcelulose
DBO	Demanda Biológica de Oxigênio
DCCR	Delineamento Composto Central Rotacional
DQO	Demanda Química de Oxigênio
MSR	Metodologia de Superfície de Resposta
PVA	Álcool polivinílico
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	JUSTIFICATIVA	11
1.2	Objetivos.....	12
1.2.1	Objetivo Geral	12
1.2.2	Objetivos Específicos	12
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO	13
2.1	Engomagem de fios.....	13
2.2	Agentes engomantes.....	16
2.2.1	Amido	16
2.2.2	Álcool Polivinílico (PVA)	17
2.2.3	Carboximetilcelulose (CMC).....	17
2.2.4	Goma acrílica.....	17
2.3	Tecelagem	18
2.4	Fibra de algodão nos processos têxteis	18
3	MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1	Material	21
3.2	Métodos.....	21
3.2.1	Preparação da goma e engomagem dos fios	21
3.2.2	Efeito da variação da carga de goma dos fios de algodão engomados	22
3.2.3	Análise gravimétrica dos fios engomados	22
3.2.1	Análise estatística	23
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
4.1	Definição do parâmetro de pressão do sistema de engomagem (NIP).....	24
4.2	Engomagem e seus efeitos nas propriedades físicas dos fios	24
4.3	Avaliação da análise gravimétrica dos fios engomados	28
4.4	Análise estatística do efeito da variação da carga de goma com a carga de ruptura dos fios engomados.....	28
5	CONCLUSÃO.....	33
	REFERÊNCIAS.....	34

1 INTRODUÇÃO

A engomagem dos fios é um processo de grande importância para a eficiência na tecelagem, garantindo maior resistência, coesão entre as fibras e recobrimento do fio, o que diminui o número de rupturas, contribuindo de maneira direta para a redução das quebras durante o processo. O processo é responsável pela diminuição do coeficiente de fricção, e para que o coeficiente seja o mais baixo possível, a superfície do fio deve ser lisa e livre de penugens (LOBO; LIMEIRA; MARQUES, 2014).

Se a engomagem dos fios for efetuada de maneira inadequada, a pilosidade proeminente nos fios irá se colar aos fios adjacentes, fazendo com que no processo de tecelagem a goma seja parcialmente removida, enfraquecendo o fio podendo levar a ruptura. É importante ressaltar que, a qualidade e regularidade dos fios utilizados para o urdimento interferirá diretamente nos resultados da engomagem. É importante frisar que os defeitos provenientes da fiação não podem ser corrigidos ou eliminados neste processo (MALUF; KOLBE, 2003).

Quando a engomagem é bem sucedida, as características mecânicas do fio são melhoradas, mantendo a elasticidade e o alongamento dos fios inalterados. A goma, deve formar uma camada periférica de adesivo no fio, penetrando até um nível adequado. O excesso de goma presente no fio causa a rigidez e diminui o alongamento do mesmo, bem como, um teor de goma abaixo do ideal deixará o fio menos resistente as tensões de trabalho e ao atrito sofrido durante o processo de tecelagem (ALCÂNTARA; DALVIN, 1996).

De maneira geral podem ser utilizadas gomas a base de polímeros naturais, como as gomas amiláceas e as derivadas de celulose (carboximetilcelulose) e polímeros de base sintética, derivados do petróleo como álcool polivinílico e do ácido poliacrílico. A escolha dependerá dos fatores já citados acima. Ao preparo da goma com adição, ou não, de químicos auxiliares damos o nome de compostos engomantes (*compounds*), são desenvolvidos de acordo com as necessidades do cliente, nele é necessário apenas a adição de água, facilitando otimizando o processo de engomagem (ADANUR, 2001).

No processo de engomagem, um dos fatores fundamentais é a formulação da receita de engomagem, ou compostos engomantes. Assim, a escolha dos produtos deve ser feita de maneira criteriosa, analisando fatores como: o tipo de fibra, a afinidade entre o agente engomante e a fibra, porém esta ligação deve ser facilmente quebrada, pois a goma deverá ser retirada posteriormente; o artigo a ser fabricado, é necessário se atentar as exigências impostas ao fio, densidade de urdume e de trama e tipo de ligamento, já que a escolha do produto influenciará a carga de goma necessária (ADANUR, 2001; AHMED et al., 2021).

O título do fio, que nada mais é que a relação entre a sua massa e comprimento, é um dos parâmetros chave para o desenvolvimento da receita, pois em fios de menor diâmetro, a torção será maior e a resistência a tração será menor (SENAI, 2016). Sendo assim, os espaços entre as fibras serão menores, dificultando a entrada da goma, portanto, a viscosidade da goma deverá ser menor do que a de um fio de diâmetro maior, fazendo com que esta dificuldade seja superada e a engomagem ocorra dentro do esperado (MALUF; KOLBE, 2003).

O custo dos produtos é tão importante quanto os elementos citados acima, já que o custo dos produtos utilizados é um fator decisivo de escolha para as empresas. Devem ser levados em consideração além do produto engomante, os produtos auxiliares que possam vir a ser utilizados e também o custo operacional da engomagem, do processo de desengomagem e o tratamento do efluente gerado (GOSWAMI; ANANDJIWALA; HALL, 2004).

Dito isto, este trabalho teve como objeto realizar um estudo sobre a influência da engomagem na melhoria da resistência dos fios de algodão, realizando o preparo de receitas de goma com variações de *pick-up*, e conseqüentemente na carga de goma nos fios engomados.

1.1 JUSTIFICATIVA

O processo de engomagem é de suma importância em uma tecelagem, a eficiência dos teares e a qualidade do tecido dependem diretamente de uma engomagem bem sucedida. Muitos dos problemas que ocorrem durante a tecelagem estão relacionados a uma má preparação a tecelagem, gerando custos adicionais no processo.

O nível de goma presente no fio após a engomagem ditará a qualidade do processo de tecelagem, fazendo com que os fios adquiram melhor resistência a tração e maior resistência a abrasão, decorrendo em um menor número de paradas por quebra de fio no tear, e conseqüentemente aumentando a eficiência da tecelagem.

Sendo assim, é imprescindível atingir um nível ótimo de goma da receita, e, conseqüentemente, na superfície do fio. Atingir a excelência neste processo de engomagem contribui para evitar os desperdícios de materiais, além de melhorar a produtividade na sala de teares e gerar economia. É importante salientar que as empresas que comercializam produtos para engomagem se dedicam a desenvolver compostos específicos para cada processo de tecelagem das diferentes empresas, a fim de buscar excelência neste processo. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo, efetuar um estudo de engomagem de fios de algodão a fim de avaliar a influência dos parâmetros de engomagem no aumento de resistência dos fios.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Efetuar um estudo sobre a influência da engomagem na melhora da resistência a ruptura dos fios têxteis.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Adaptar o procedimento laboratorial para o preparo das receitas de goma;
- Efetuar a engomagem dos fios por *Fouillardagem*;
- Realizar a análise gravimétrica dos fios engomados para o cálculo prático de carga de goma nos fios.
- Avaliar a resistência mecânicas dos fios engomados para diferentes cargas de goma obtidas;
- Efetuar um estudo estatístico (Análise de Variância e Teste de Tukey) da engomagem dos fios

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

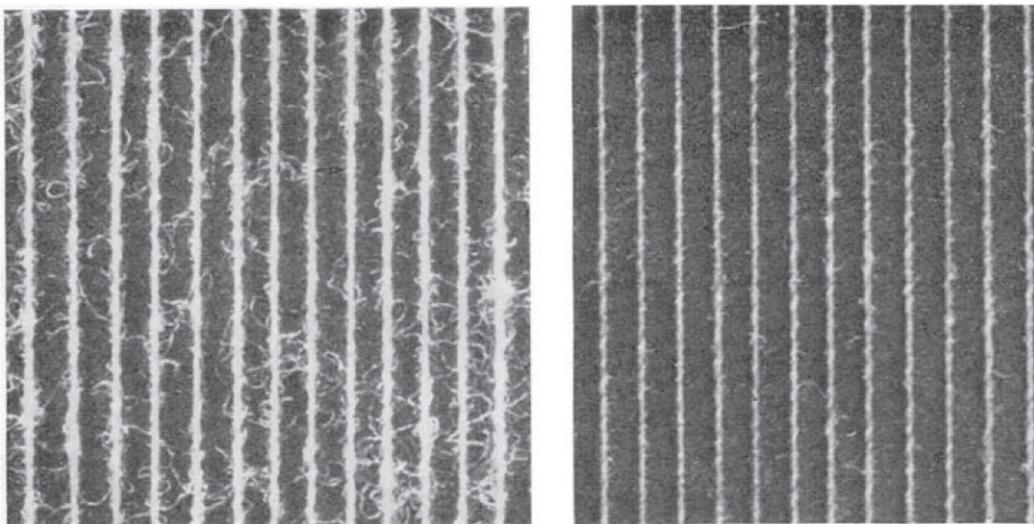
2.1 Engomagem de fios

A engomagem faz parte do processo de pré-tecelagem, ou preparação para tecelagem. O primeiro processo é chamado de urdissagem, (urdimento), sua finalidade é transferir os fios de urdume das bobinas para um rolo de urdume corrigindo a tensão dos fios e definindo o comprimento dos fios de urdume (ADANUR, 2001). Para esta operação é utilizada uma máquina chamada urdideira, que é composta por uma gaiola, onde as bobinas de fios serão alocadas e a urdideira propriamente dita. Existem dois modelos de urdideira, a urdideira direta ou contínua, que geralmente trabalha com fios singelos, necessitando de engomagem, e a urdideira seccional, utilizada para fios retorcidos, para artigos de maior complexidade e que não necessariamente precisarão ser engomados (SENAI, 2015a).

Após a urdissagem dos fios, os mesmos passarão pelo processo de engomagem. Recebendo os agentes engomantes a fim de torna-los mais resistentes ao atrito sofrido durante o processo de tecimento no tear (LOBO; LIMEIRA; MARQUES, 2014). Pode-se dizer que, os principais objetivos do processo de engomagem são aumentar a resistência a ruptura e resistência a abrasão dos fios, reduzir a capilaridade, aumentar a coesão das fibras, melhorar a resistência a abrasão dos fios, diminuir a fibrilação. Fatores que contribuem diretamente na redução do número de quebra do fio durante o processo de tecelagem (ADANUR, 2001).

A Figura 1, demonstra a melhora da coesão fibra a fibra dos fios engomados em comparação aos fios que não passaram pelo processo.

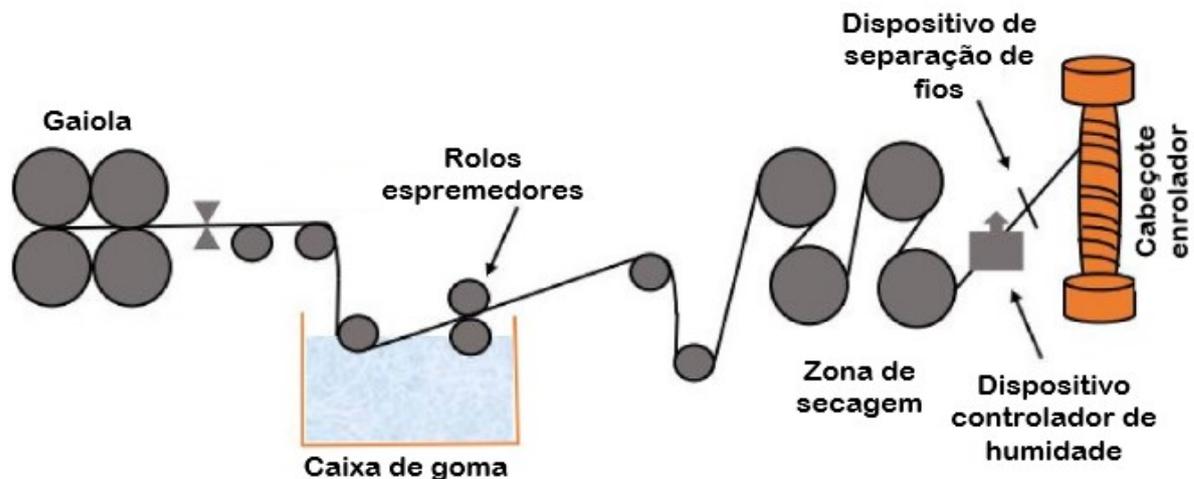
Figura 1 - capilaridade do fio antes (esquerda) e após a engomagem (direita).



Fonte: Gandhi (2012)

A engomagem é realizada na engomadeira, que se divide em quatro seções, como demonstrado na Figura 2, a gaiola de alimentação ou estante, que tem por finalidade acondicionar os rolos vindos da urdideira; a caixa de goma, que recebe a solução engomante e a mantém em condições ideais de aplicação, e também propicia o contato dos fios de urdume com a solução; a zona de secagem, que proporciona a secagem dos fios engomados; e o cabeçote enrolador, onde os fios serão enrolados no rolo de urdume final que seguirá para o tear (SENAI, 2015a).

Figura 2 - Representação do processo de engomagem



Fonte: Adaptado de Ahmed et al. (2021)

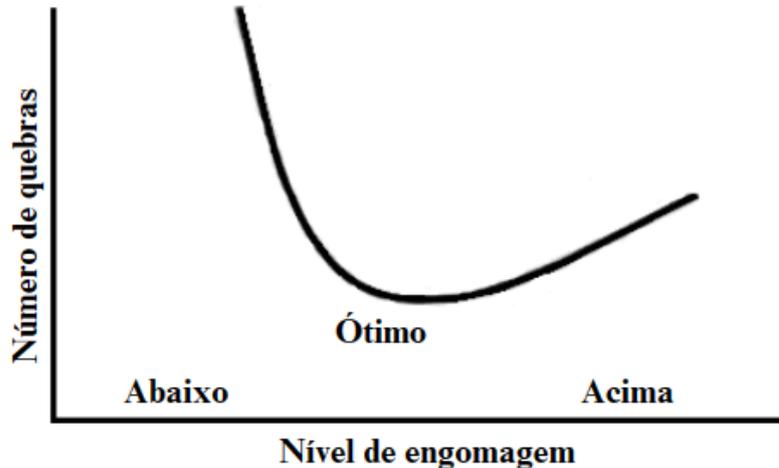
A uniformidade do filme formado e a carga de goma, também conhecida como *Pick-up* seco que determina o percentual de goma no fio após a secagem, são de grande influência para a tecelagem, parâmetros como a viscosidade da solução e a pressão de espremedura dos rolos influenciam a absorção ou *pick-up* úmido, que expressa o percentual de goma em litros absorvido por um determinado peso, em Kg, de fio processado, bem como o percentual de sólidos, que indica o percentual de sólidos presentes na solução engomante (GOSWAMI; ANANDJIWALA; HALL, 2004).

A quantidade de sólidos adicionados a receita influenciará nos parâmetros descritos acima, a informação é inserida manualmente na máquina, que adicionará a quantidade determinada sem considerar a perda de líquidos por vaporização ou erros durante a formulação da receita. Logo, há a necessidade da verificação deste parâmetro durante a preparação da goma, em máquinas mais recentes sensores são capazes de controlar a concentração da solução, porém é possível fazer este controle manualmente (GOSWAMI; ANANDJIWALA; HALL, 2004).

De acordo com Adanur (2001), há um nível ótimo de carga de goma que confere ao fio o mínimo de quebras, conforme a Figura 3. Uma quantidade excessiva de goma faz com que

o fio se torne mais rígido e menos flexível, porém, se a quantidade for insuficiente, o fio não resistirá as tensões e atrito sofridos.

Figura 3 - Curva de engomagem



Fonte: Adaptado de Adanur, (2001)

Os agentes engomantes podem ser de origem natural, como as gomas a base de amido e carboximetilcelulose (CMC), e sintéticos como álcool polivinílico (PVA). Por conta do preço relativamente baixo, as gomas de amido são as mais utilizadas, constituindo aproximadamente 75% dos agentes engomantes utilizados na indústria têxtil a nível mundial (GOSWAMI; ANANDJIWALA; HALL, 2004). A seleção da formulação da goma é feita considerando o tipo de fio, o tipo de tear a ser utilizado e a facilidade de remover a goma do tecido posteriormente, a tabela 1 relaciona os principais tipos de engomantes empregados na indústria com as fibras a que possuem maior afinidade (ALCÂNTARA; DALTIM, 1996).

Tabela 1 - Tipos de engomantes

Engomante principal	Algodão	Lã	Mistura de poliéster	Acrílico	Acetato e Nylon	Poliéster
Amido	X	X	X	X		
CMC	X	X	X			
PVA	X	X	X	X		X
Poliacrilatos	X	X	X	X	X	X

Fonte: adaptado Alcântara; Daltin (1996)

Outros compostos podem ser adicionados a receita de goma, o que pode tornar a mistura bem complexa. Dependendo do tear utilizado e do tipo de goma, pode ser necessário o uso de ingredientes como umectantes, antiestáticos e antiespumantes, modificadores de viscosidade e falsos corantes. Quase sempre é necessário o uso de lubrificantes, a fim de reduzir a abrasão causada pelo contato entre o fio e as peças metálicas dos teares. A modificação da goma pode gerar problemas na etapa de beneficiamento, já que qualquer alteração pode influenciar no processo de desengomagem (MALUF; KOLBE, 2003).

Para facilitar a preparação da receita, é possível encontrar no mercado produtos customizados, preparados de acordo com as características demandadas pelo cliente. Estes compostos, oferecem facilidade no manuseio, uma vez que todos os aditivos necessários para a receita já estarão contidos em um único produto, preparado para que os fios alcancem o maior desempenho no engomagem (WULLNER, [s.d.]).

2.2 Agentes engomantes

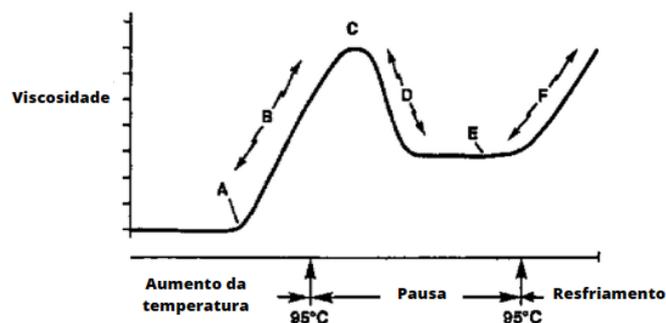
Neste tópico será feita uma breve discussão sobre os principais tipos de agentes engomantes utilizados na indústria têxtil.

2.2.1 Amido

O amido pode ser encontrado em tubérculos (como a batata, mandioca e araruta), e nos grãos (arroz, trigo, milho e sorgo). Sua utilização como goma se dá em sua forma natural, não modificado, ou quimicamente modificado para alcançar melhorias em suas propriedades e em misturas prontas para o uso, os compostos engomantes (GOSWAMI; ANANDJIWALA; HALL, 2004). Devido ao alto número de grupos hidroxila, o amido consegue se ligar com facilidade as fibras de origem celulósica, tais como algodão, viscose e cânhamo (DECON, 2018). Seu alto uso pela indústria se deve não só a este fator, bem como a facilidade que ele oferece no processo de desengomagem e principalmente pelo seu baixo custo (GOSWAMI; ANANDJIWALA; HALL, 2004).

Sendo insolúvel em água, o amido deve ser cozido em alta temperatura, fazendo com que as moléculas de água dissolvam o polímero. Esta temperatura é chamada temperatura de gelatinização. Como mostrado na figura 4, conforme a água é absorvida pelo amido, a viscosidade da solução aumenta, até o ponto de nivelamento de viscosidade, onde a goma está pronta para ser utilizada (GOSWAMI; ANANDJIWALA; HALL, 2004).

Figura 4 - Curva típica de cozimento (viscosidade) para o amido.



Fonte: Adaptado de Goswami; Anandjiwala; Hall (2004)

O amido é um carboidrato que pode ser degradado fazendo uso de ácidos fracos e enzimas, sem prejudicar as fibras de algodão. Quanto ao tratamento dos efluentes gerados pela engomagem, o amido consiste em açúcar polimerizado, a glicose, o que faz com que a água residual do processo seja carregada com nutrientes de elevada Demanda Biológica de Oxigênio (DBO), que afeta o balanço ecológico dos rios, demandando um custo adicional do processo de engomagem (MALUF; KOLBE, 2003).

2.2.2 Álcool Polivinílico (PVA)

O álcool polivinílico é utilizado para engomar fibras sintéticas, como, poliéster e misturas poliéster/algodão. Por este motivo, o PVA é o segundo agente engomante mais utilizado pela indústria têxtil. A goma de PVA oferece boa resistência a abrasão e pode ser removida do fio na desengomagem com água quente. Sendo uma goma sintetizada a partir do petróleo, suas propriedades podem ser modificadas, podendo alcançar diferentes níveis de hidrólise e viscosidade (ADANUR, 2001).

2.2.3 Carboximetilcelulose (CMC)

O CMC é um agente engomante derivado da celulose que pode ser dissolvido em água fria. Possui alta resistência e boa aderência as fibras de algodão. Pode também ser utilizado em conjunto com PVA e com gomas a base de amido modificado. Por trabalhar a baixa temperatura, esse tipo de goma pode ser utilizado em fibras como viscose e o acrílico (GANDHI, 2012).

Por conta de ser facilmente desengomado, e possuir um nível de poluição de baixo DBO, o CMC foi amplamente utilizado pela indústria têxtil anos atrás, porém com a descoberta dos seus usos como aditivo de alimentos e em detergentes, seu preço aumentou, tornando inviável seu uso em comparação com os outros produtos (MALUF; KOLBE, 2003).

2.2.4 Goma acrílica

São chamadas de gomas acrílicas as gomas derivadas do ácido poliacrílico. Este tipo de produto é utilizado na engomagem de fibras hidrófobas, como, poliéster, poliamida, acrílica, acetado, etc. Uma grande vantagem da goma acrílica é que ela pode se tornar insolúvel em água durante o tecimento, podendo ser utilizada em teares jato de água. Quanto ao processo de desengomagem, ela pode ser solubilizada em meio alcalino, porém, quando se engoma fios de acetato, é necessário que seja feita a desengomagem com solventes (MALUF; KOLBE, 2003).

2.3 Tecelagem

A tecelagem é definida por SENAI (2016), como “a técnica de entrelaçar fios por meio do cruzamento perpendicular entre dois grupos de fios, conhecidos como urdume e trama”.

Este método de entrelaçamento concede ao tecido plano características como estabilidade dimensional e resistência a deformação, qualidades que diferenciam o tecido plano das malhas e não tecidos (ADANUR, 2001).

Para que o processo ocorra, é necessário que os fios passem pela pré-tecelagem, que é composta pelos processos de urdissagem, que tem como objetivo reunir os fios de urdume em um rolo de urdume primário com o comprimento e tensão de enrolamento constante, que determinará o comprimento final do tecido, após este processo, os rolos primários passarão pelo processo de engomagem, onde os fios serão tratados para que resistam aos atritos e tensões durante o processo de tecimento nos teares (SENAI, 2015a).

Os principais sistemas de inserção de trama presentes na indústria de tecelagem são os de lançadeira, pinças, projétil, jato-de-ar e jato-de-água. E independente do sistema utilizado, os desafios mais significativos da tecelagem são a redução do consumo energético, redução da poluição sonora, aumento na produtividade e na flexibilidade de artigos produzidos (TAUSIF et al., 2018).

Novas tecnologias em teares vêm sendo apresentadas, permitindo que se alcance maiores velocidades de trabalho durante o tecimento. Com o aumento da velocidade, se faz necessário que a resistência a ruptura dos fios seja maior. Takebira et al. (2020), realizou um estudo em que mostra a relação entre parâmetros como, pressão dos rolos de espremedura, temperatura de secagem, velocidade da máquina e temperatura na caixa de goma, onde foi descrito que a velocidade do tear e o controle de temperatura da goma foram os fatores de maior impacto para a redução do número de quebras dos fios.

2.4 Fibra de algodão nos processos têxteis

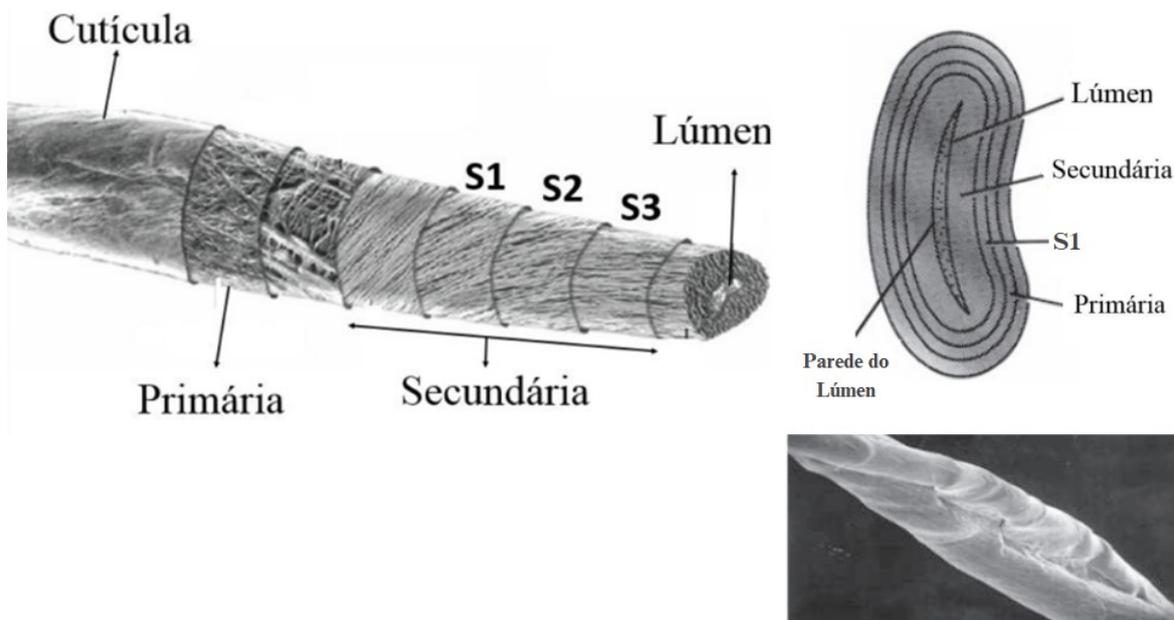
O algodão é a fibra natural mais utilizada no mundo. Segundo a ABRAPA (Associação Brasileira dos Produtores de Algodão), por ano uma média de 35 milhões de hectares de algodão é plantada. Atualmente, o algodão é cultivado por mais de 60 países, sendo que o Brasil se encontra entre os maiores produtores mundiais, junto com a China, Índia, Estados Unidos e Paquistão. Dentre os processos de manufatura de produtos têxteis, a tecelagem é o principal

processo utilizado para a transformação das fibras de algodão em tecidos, seguido pelo processo de malharia (ABRAPA, 2022; TAUSIF et al., 2018).

Moore (1996) define que os principais parâmetros relacionados a qualidade da fibra de algodão são comprimento da fibra, uniformidade, resistência, grau de branco, alongamento e a maturidade, e estes parâmetros estão relacionados diretamente a morfologia e a composição química da fibra.

Quimicamente, a fibra de algodão é formada majoritariamente por celulose, 94% da sua composição, sendo sua cadeia formada por moléculas de celulose, seguida de ceras, proteínas, cinzas e substâncias pécticas (CORREA, 1965). Geometricamente, as fibras de algodão possuem a forma de uma fita torcida ao longo do seu comprimento, e a seção transversal que lembra o formato de um feijão, como demonstrado na Figura 5. A estrutura da fibra pode ser dividida em camadas, sendo elas cutícula, parede primária, parede secundária, dividida em seis seções, parede do lúmen e lúmen (ALVARENGA, 2018; MOGAHZY, 2008).

Figura 5 - Morfologia da fibra de algodão

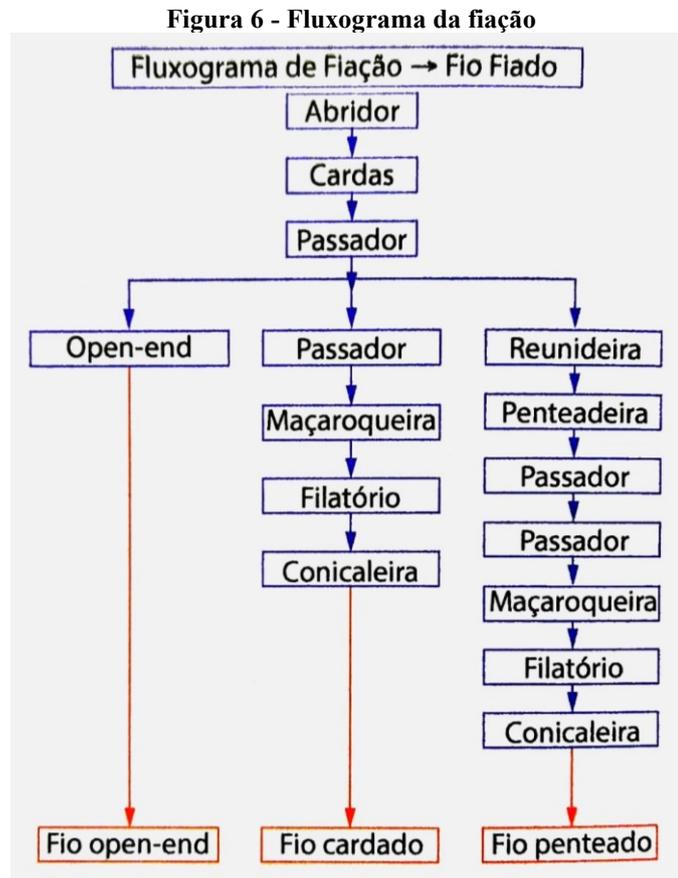


Fonte: Adaptado de Alvarenga, (2018); Mogahzy, (2008)

Na indústria têxtil o algodão é recebido em fardos e a partir daí inicia-se o processo de fiação. Os fios fiados podem ser caracterizados pelo seu processo de produção, título, torção, resistência a tração e tenacidade. Os processos mais utilizados para obtenção de fios fiados são fiação anel e *open-end*, sendo que cada processo produz fios com características diferentes que consequentemente impactam no processo de engomagem (MALUF; KOLBE, 2003).

A fiação anel permite que se obtenha dois tipos de fios, os cardados e os penteados. Os fios cardados são fios mais grossos e mais irregulares, adequados para artigos de menor

densidade, já os fios penteados apresentam maior regularidade e são mais finos, designados a artigos com maior densidade de fios. Os fios oriundos fiação *open-end*, são fios de títulos grossos, com toque mais áspero se comparado aos fios anel e mais irregulares. Em ambos os processos de fiação é necessário que as fibras passem por processos preparatórios a fiação, como mostra a Figura 6 (SENAI, 2015b).



Fonte: SENAI (2015b)

Após a fiação os fios poderão ser destinados a outros processos, como a tecelagem de tecidos planos ou de tecidos de malha, ou podem passar primeiro pelo processo de tingimento, onde os fios receberão cor a partir de um banho com corantes, além dos processos de beneficiamento (BELTRAME, 2000).

Beltrame (2000, apud SANIN), afirma que por volta de 50% da carga contaminante expressa em DQO é proveniente do descarte de goma, sendo 40% impurezas naturais, derivadas dos processos de purga e alvejamento durante a desengomagem, e 10% vindos dos produtos químicos utilizados nas lavagens.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Nesta sessão será apresentada a descrição dos experimentos realizados e dos processos de avaliação dos resultados coletados, bem como os materiais que foram utilizados.

3.1 Material

O experimento foi realizado com fio 100% algodão, sistema anel cardado de título Ne 12/1, fornecidos por uma empresa da região. A goma utilizada foi um composto de base amilácea cedido por uma empresa nacional.

3.2 Métodos

3.2.1 Preparação da goma e engomagem dos fios

A receita de goma utilizada foi desenvolvida a partir da receita recomendada pelo fabricante e adaptada para um cozinhador de bancada. Para a adaptação do cozinhador, foi utilizado um tubo para tingimento com capacidade de 1,2 L (Kimak) acoplado a uma manta térmica (FISATOM, 102E) e dispersor Ultra Turrax T25 (IKA).

A partir do valor da concentração de sólidos dos produtos presentes no composto, definido previamente pelo fabricante, foi possível definir a partir da equação 1, a quantidade em Kg de produto necessário para atingir a concentração de sólidos desejada no banho de goma de 5,3%.

$$P_i = \frac{S\% V_t}{C_i \cdot 100} \quad (1).$$

Em que:

P_i : Peso de cada produto da receita, em Kg;

$S\%$: Concentração / porcentagem de sólidos no banho, em %;

V_t : Volume de banho, em L;

C_i : Concentração de sólidos de cada produto da receita, em %.

De acordo com a empresa fabricante, a concentração de sólidos (C_i) do composto utilizado é de 0,89%, logo, para atingir uma concentração de sólidos de 5,3% em uma receita de 0,5 L, foi necessário um total de 29,77 g de composto engomante. A aplicação da goma nos fios foi realizada por meio de *Foulardagem* no laboratório textil da UTFPR – Apucarana, utilizando o *Foulard* vertical.

Após a engomagem dos fios será possível definir o valor de *pick-up* de cada amostra, para isto, os fios foram pesados em uma balança analítica antes e depois do processo de engomagem, e o cálculo foi realizado utilizando a equação 2.

$$Pick - up(\%) = \frac{PU - PS}{PS} \cdot 100 \quad (2).$$

Onde:

Pick - up: percentual de retenção do banho pelo fio;

PU: peso úmido, após a saída do *Foulard*;

PS: peso seco, antes de receber a goma.

3.2.2 Efeito da variação da carga de goma dos fios de algodão engomados

Os testes mecânicos foram realizados a fim de medir as propriedades físicas dos fios antes e depois de serem engomados, baseando-se na norma ASTM D2256-21. A propriedade avaliada, tenacidade (cN/tex), foi determinada pelo ensaio de tração realizado no equipamento TURBOMAXX7, PREMIER em um laboratório de uma empresa da região.

3.2.3 Análise gravimétrica dos fios engomados

A gravimetria é utilizada quando se tem a intenção de determinar a quantidade de um constituinte da amostra, medindo as alterações em sua massa, determinando a massa do analito ou de algum composto quimicamente relacionado (SKOOG *et al.*, 2015).

Para a análise, as amostras foram pesadas em uma balança analítica antes e depois do processo de engomagem, sendo possível definir a carga de goma do fio pela diferença entre as duas pesagens, e assim comparar o resultado quantitativo com os resultados teóricos obtidos pelos cálculos de tecelagem. Para evitar que a umidade presente no fio comprometesse os resultados, as amostras foram mantidas em uma estufa a 60°C por 24 horas antes da engomagem e após o processo. E o cálculo foi realizado de acordo com a equação 3 abaixo.

$$CG(\%) = \frac{PE - PS}{PE} \cdot 100 \quad (3).$$

Sendo:

CG (%): percentual de carga de goma presente no fio;

PE: peso do fio engomado;

PS: peso do fio seco, antes de receber a goma.

Também é possível calcular a carga de goma teórica para cada amostra. De acordo com Tralli (2000), a carga de goma pode ser calculada levando em consideração a porcentagem

de sólidos no banho e o *pick-up* utilizado. A concentração ou porcentagem de sólidos utilizada como dito acima foi de 5,3%, valor este que foi confirmado através do uso de um refratômetro brix. Logo, tendo o valor de $S\%$, e dos *pick-ups*, foi calculado também a carga de goma teórica da receita, com a equação 4.

$$CG(\%) = \frac{S\% - Pick\ up}{100} \quad (4).$$

3.2.4 Análise estatística

A fim de validar os dados de forma significativa, foram utilizados tratamentos estatísticos tais como a Análise de Variância (ANOVA), teste de homocedasticidade e o Teste de Tukey.

Para realizar a análise, foram coletados os dados de tenacidade para cada amostra engomada, bem como para a amostra padrão. Os testes foram realizados pelo laboratório de uma empresa da região, onde as amostras foram acondicionadas por 24 horas antes da realização dos testes a uma temperatura de 21°C e umidade de 61% ± 3%.

O equipamento trabalha realizando medições para um grupo de 10 amostras de 50mm cada, onde cada amostra de fios é puxada do cone ou bobina de forma automática e é testado, obtendo-se em seguida os resultados para cada amostra e também a média destes resultados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Definição do parâmetro de pressão do sistema de engomagem (NIP)

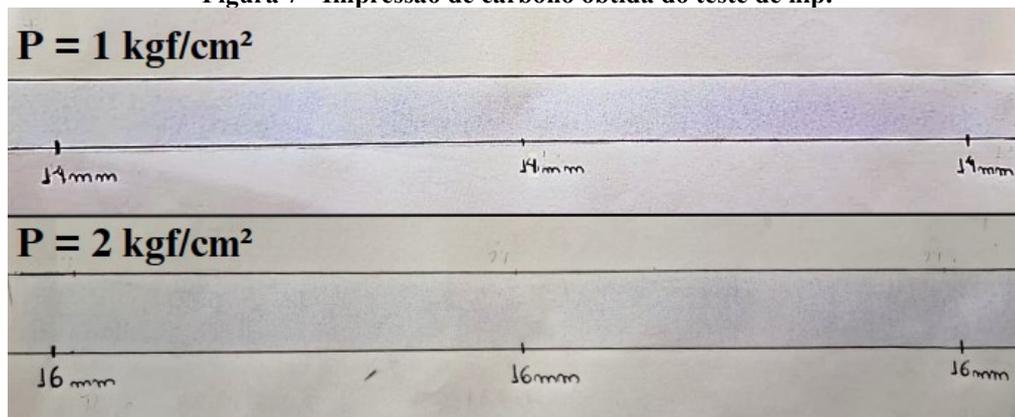
O *Foulard*, é constituído por dois cilindros paralelos, acionados por dois atuadores pneumáticos em cada ponta do eixo do cilindro, sendo que somente um dos cilindros é móvel. É importante realçar a importância do paralelismo entre os cilindros, visto que o desalinhamento entre os mesmos gera diferenças na aplicação do produto sobre o fio (FURTADO, 2001).

Para que isso seja evitado, é necessário ter conhecimento do bombê (abaaulamento - diferença de medida no diâmetro entre as extremidades e o centro do cilindro), realizando o teste de nip que checa o nivelamento dos cilindros, para que se necessário, poder realizar a compensação das pressões em seus respectivos eixos (CEARÁ, 2007).

Para realização do teste de nip foi utilizado uma folha de papel sulfite dobrada com carbono entre as folhas colocadas entre os cilindros e pressionada por 3 minutos. Após esse tempo foi analisada a impressão deixada no papel sulfite, mostrando que o centro do cilindro poderia ser utilizado sem variação de espremedura.

Visando manter um controle sobre a largura de contato entre os rolos e o fio, foi determinado que o nip utilizado seria de 15mm +/- 2, parâmetro este usado pelos fabricantes de goma, sendo assim, utilizando o teste de nip (Figura 7). Foram testadas as pressões de trabalho e determinado que a faixa de pressão para os testes seriam entre 1 kgf/cm² a 2 kgf/cm².

Figura 7 - Impressão de carbono obtida do teste de nip.



Fonte: Autoria própria (2023)

4.2 Engomagem e seus efeitos nas propriedades físicas dos fios

O preparo da goma foi realizado em um sistema aberto, vide Figura 8, onde o composto foi misturado a água e cozido. Para realizar controle dos parâmetros da receita, como a concentração de sólidos no banho e a viscosidade da goma, foram utilizados respectivamente, um refratômetro óptico brix portátil, com escala de 0 – 32% e um copo zahn n°3.

Figura 8 - Sistema para cozimento da goma em bancada



Fonte: Autoria própria (2023)

Seguindo as instruções do fabricante, a mistura foi mantida em aquecimento e agitação, até a atingir uma temperatura de 92°C, que faz com que a mistura passe pela gelatinização e alcance o seu nível máximo de viscosidade devido ao rompimento dos grânulos de amido, sendo mantida por 15 minutos a esta temperatura para que a viscosidade se estabilize (GOSWAMI; ANANDJIWALA; HALL, 2004; JACKSON, 2003).

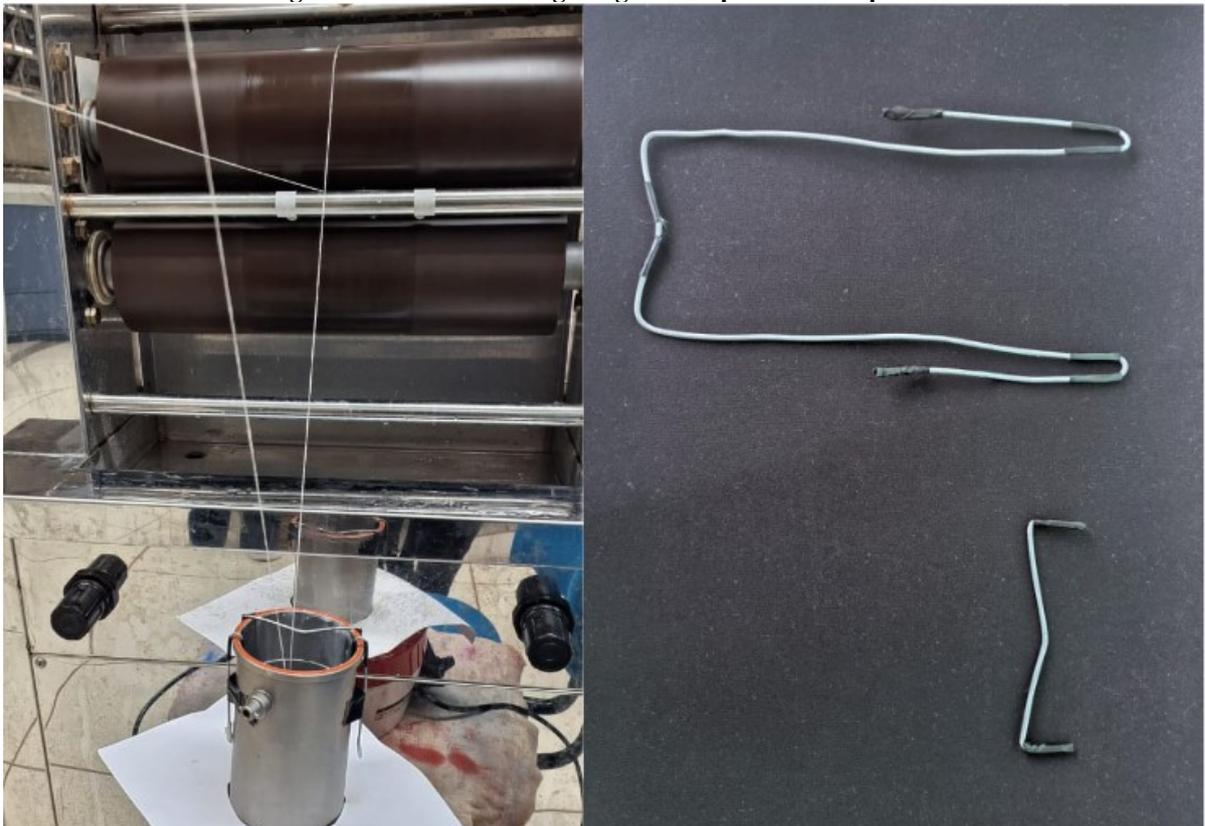
Em sua pesquisa, Kovačević et al. (2020) descreve a influência da temperatura na viscosidade da solução, que começa a aumentar por volta dos 40°C, e se eleva consideravelmente quando chega a 60°C e decaindo por volta dos 85°C até a estabilização. Ele explica que, com o aumento da temperatura os grânulos de amido começam a se desintegrar, fazendo com que toda a sua estrutura molecular seja enfraquecida, e após o grânulo inchar irreversivelmente, ele se rompe, o que faz com que haja esse aumento de viscosidade atingindo o ponto de gelatinização (entre 60 – 70°C). Com o contínuo aumento da temperatura, ocorrerá a dissolução completa dos grânulos, fazendo a viscosidade cair levemente.

Decorrido o tempo de cozimento, foram realizadas as aferições de concentração de sólidos na mistura com o refratômetro brix, e de viscosidade com o copo zahn. Neste momento,

se os parâmetros forem atendidos a goma se encontra pronta para aplicação. Havendo alguma discrepância em relação a viscosidade ou concentração de sólidos, a mesma deve ser corrigida (adicionando mais água caso a concentração de sólidos esteja alta, ou mais produto engomante caso esteja baixa), antes da aplicação.

O sistema adaptado funcionou de maneira similar a uma caixa de goma, fazendo com que o fio entrasse em contato com a goma de maneira uniforme por toda sua extensão. Sendo assim, foi utilizado junto ao tubo de tingimento, dois dispositivos de arame, um que orientasse o caminho do fio a passar de maneira constante pela mistura de goma, e um que guiasse o fio para o *Foulard*. A Figura 9 ilustra o processo de engomagem realizado.

Figura 9 - Processo de engomagem e dispositivos adaptados



Fonte: Autoria própria (2023)

Desta maneira, as amostras foram engomadas sendo imersas na goma e em seguida, em um processo contínuo, passaram pela espremedura no *Foulard* vertical (TC 2030, TEXCONTROL), a uma pressão de 1, 1,25, 1,5, 1,75 e 2 kgf/cm², e velocidade de 16 m/min gerando assim uma variação nos *pick-ups* e carga de goma. Após a engomagem, as amostras foram enroladas em um tubo de papelão para a secagem em rama (LTE-B, MATHIS) demonstrado na Figura 10, que aconteceu por 30 segundos a 130°C.

No processo de secagem do fio acontece a consolidação do encapsulamento do filme formado. Quando o fio recebe o choque térmico ocorre a migração da umidade do interior do

fio para o seu exterior. O controle da temperatura nessa fase é importante, pois definirá a regularidade da película formada (KOVAČEVIĆ et al., 2020; TRALLI, 2000).

Figura 10 - Secagem em rama



Fonte: Autoria própria (2023).

Na tabela 2 são demonstrados os resultados de pick-up obtidos para cada amostra relacionada a cada valor de pressão utilizado. O *Foulard* usado no experimento não foi concebido para fazer a espremedura de fios, mas sim de tecidos planos, malhas e nãotecidos, o que fez com que o pick-up não pudesse ser controlado como desejado, havendo assim uma discrepância do mesmo para amostras com o mesmo valor de pressão.

Tabela 2 - Resultados de pick-ups obtidos

Amostra	Peso seco (g)	Peso úmido (g)	Pressão (kgf/cm²)	pick-up (%)
A	0,227	0,351	2	54,63
B	0,227	0,362	1,75	59,47
C	0,227	0,376	1,25	65,64
D	0,235	0,38	1,5	61,70
E	0,212	0,353	1,75	66,51
F	0,225	0,35	2	55,56
G	0,212	0,358	1	68,87
H	0,218	0,372	1	70,64
I	0,211	0,351	1,25	66,35

Fonte: Autoria própria (2023)

4.3 Avaliação da análise gravimétrica dos fios engomados

Após a engomagem, as amostras foram levadas a uma estufa (EESCRAF-46D, VULCAN) à 60°C por 24 horas para garantir que não houvesse umidade no fio, podendo assim, definir a massa relativa à quantidade de goma presente na sua superfície pela diferença do peso da amostra engomada para a amostra sem goma.

Abaixo, na tabela 3, são apresentados os resultados obtidos para a carga de goma experimental, através da gravimetria e da carga de goma teórica. Observa-se que houve uma variação considerável entre as cargas de goma obtidas, o que torna possível analisar os efeitos da engomagem na carga de ruptura do fio em relação a este parâmetro no tópico a seguir.

Tabela 3 - Percentual de carga de goma no fio

Amostra	Peso antes da engomagem (g)	Peso após a engomagem (g)	<i>pick-up</i> (%)	Carga de goma experimental (%)	Carga de goma teórica (%)
A	0,227	0,235	54,63	3,40	2,90
B	0,227	0,237	59,47	4,22	3,15
C	0,227	0,238	65,64	4,62	3,48
D	0,235	0,247	61,70	4,86	3,27
E	0,212	0,228	66,51	7,02	3,53
F	0,225	0,242	55,56	7,02	2,94
G	0,212	0,231	68,87	8,23	3,65
H	0,218	0,238	70,64	8,40	3,74
I	0,211	0,232	66,35	9,05	3,52

Fonte: Autoria própria (2023)

Em um cenário ideal, os valores entre a carga de goma experimental e a teórica seriam muito próximos. Porém, neste experimento houve uma variação considerável entre os valores. Diferença esta que também pode ser percebida entre os valores de *pick-up* e carga de goma experimental, onde para *pick-ups* muito próximos, como no caso das amostras A e F, e as amostras C, E e I, as respectivas cargas de goma se mostraram distintas.

Como discutido anteriormente, acredita-se que esta diferença tenha acontecido pela incapacidade do *Foulard* de trabalhar com fios, e também com a solução de goma, visto que o mesmo foi concebido para realizar tingimentos, onde a viscosidade da solução é muito diferente da utilizada para engomantes.

4.4 Análise estatística do efeito da variação da carga de goma com a carga de ruptura dos fios engomados

Como demonstrado na Tabela 4, para a amostra padrão foram realizados 1 teste automático com 10 amostras, 1 teste manual com 10 amostras onde os fios foram colocados no equipamento de forma manual, e por fim foi realizado mais um teste com uma amostragem

menor. Estes testes foram realizados a fim de observar se haveria variação estatística entre os resultados obtidos de forma automática ou manual, pois seria necessário trabalhar com um número reduzido de amostras.

Por meio do *software* origin, foi realizada análise estatística para as amostras, verificando num primeiro momento a distribuição normal dos dados, seguido de ANOVA para os resultados obtidos. A Análise de Variância é uma ferramenta estatística utilizada para comparação de vários grupos de interesse (MONTGOMERY, 1991). Foi observado que não houve diferença significativa entre os três grupos analisados, sendo os valores de $F = 1,78$ e $Prob > F = 0,44$ para o nível de significância de 0,05. Ou seja, os três grupos testados não apresentam diferença significativa, e desta forma a utilização de grupos de amostras reduzidas não impacta no experimento.

Para as amostras engomadas, foram realizados entre 3 e 5 testes de ruptura. Esta variação no número de amostras ocorreu em decorrência de falhas que ocorreram durante as medições, e por não haver comprimento suficiente para realizar a substituição destes fios, em algumas amostras foram realizados um número menor de testes. Na primeira análise (amostra A) adotou-se 3 ensaios, pois não tinha conhecimento se seria possível realizar mais que 3 ensaios. A partir do segundo ensaio programou-se o aparelho para a realização de 5 ensaios. Na realização do terceiro teste o fio se soltou da garra em um dos ensaios e como não se tinha fio suficiente para repetir o resultado foi concluído com 4 ensaios.

Tabela 4 - Resultados obtidos para o teste de resistência a tração

		Tencidade (cN/Tex)									
Padrão auto.	Padrão man.	Padrão	A	B	C	D	E	F	G	H	I
18,02	19,62	16,09	20,87	19,26	19,34	21,13	17,86	22,37	17,82	21,75	19,84
17,98	17,46	17,8	21,65	19,78	20,65	22,89	19,66	21,21	18,88	20,89	22,35
18,9	17,32	18,38	21,17	20,15	21,07	20,25	19,1	22,61	20,95	21,47	21,83
18,16	18,08			20,67	21,15	22,23	21,83	22,65	21,25	20,39	22,65
20,16	18,52			20,37		20,12	20,65	22,15	21,63	22,27	21,73
18,54	18,24										
17,9	17,74										
16,81	17,64										
18,98	17,96										
19,26	18,64										

Fonte: Autoria Própria (2023).

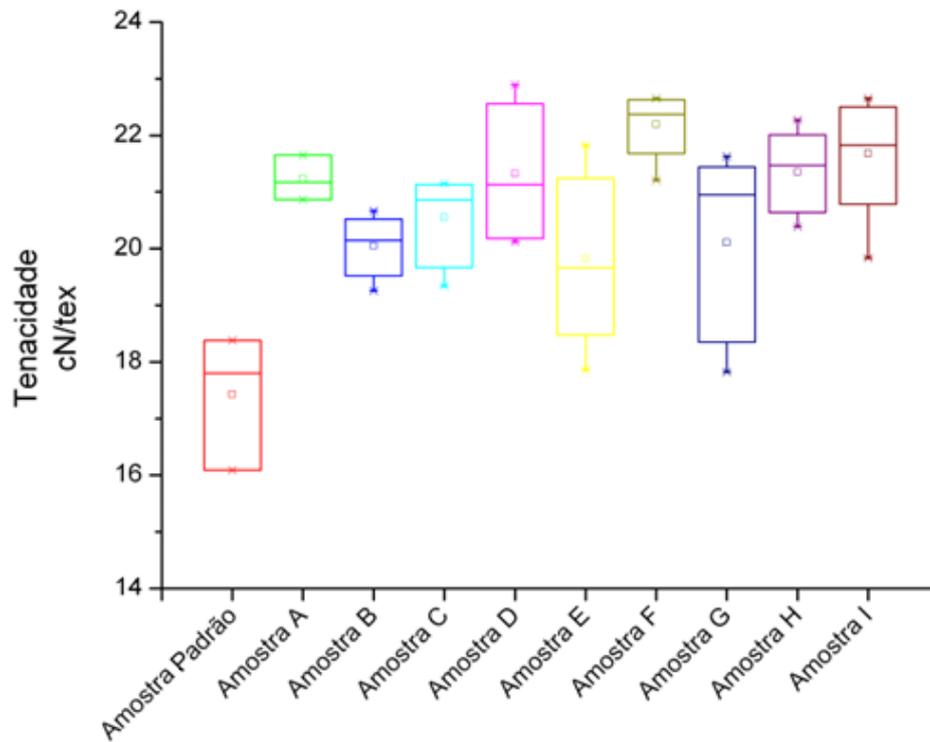
Para verificar se as suposições da análise de variância estavam atendidas foram feitos os testes de Shapiro-Wilk, que indicou que os dados seguem distribuição normal, e o teste de Levene, ou teste de homocedasticidade, que avalia a igualdade de variância dentro de um grupo e entre os grupos.

Com os resultados da ANOVA, mostrando $F = 5,80$ e $Prob > F = 6,35 \times 10^{-5}$ determinou-se que a mediana dos grupos de fios engomados e amostra padrão, são significativamente diferentes, provando que houve um aumento considerável na tenacidade dos fios engomados comparados aos fios não engomados. Já, segundo o teste de Levene, a variância na população dentro dos grupos não é significativamente diferente, com $F = 2,14$ e $Prob > F = 0,05$. Isto quer dizer que, embora haja a diferença entre os grupos avaliados, a variação de dentro de cada grupo não é significativamente diferente. Na Figura 11, é demonstrado graficamente a variação entre os dados observados por meio da ferramenta gráfica *box plot*, ou diagrama de caixas.

O diagrama de caixas é um tipo de gráfico que exhibe a tendência central não paramétrica (mediana), dispersão (quartis 25% e 75%), valores pontuais mínimo e máximo e valores atípicos, conhecidos como *outliers*. Suas aplicações incluem análise exploratória dos dados, detecção de *outliers* e comparação entre grupos estudados (VALLADARES NETO et al., 2017).

Na Figura 11, são demonstrados os dados de tenacidade dos fios para cada amostra engomada analisada, incluindo a amostra padrão. É possível ver que todas as amostras de A a I, atingiram um nível maior de tenacidade do que a amostra padrão. Isto indica que, como esperado, a engomagem foi bem sucedida no que diz respeito a melhorar a resistência a tração dos fios. Porém, devido as dificuldades encontradas durante a aplicação da goma em laboratório, não é possível dizer se estas amostras engomadas são diferentes entre si.

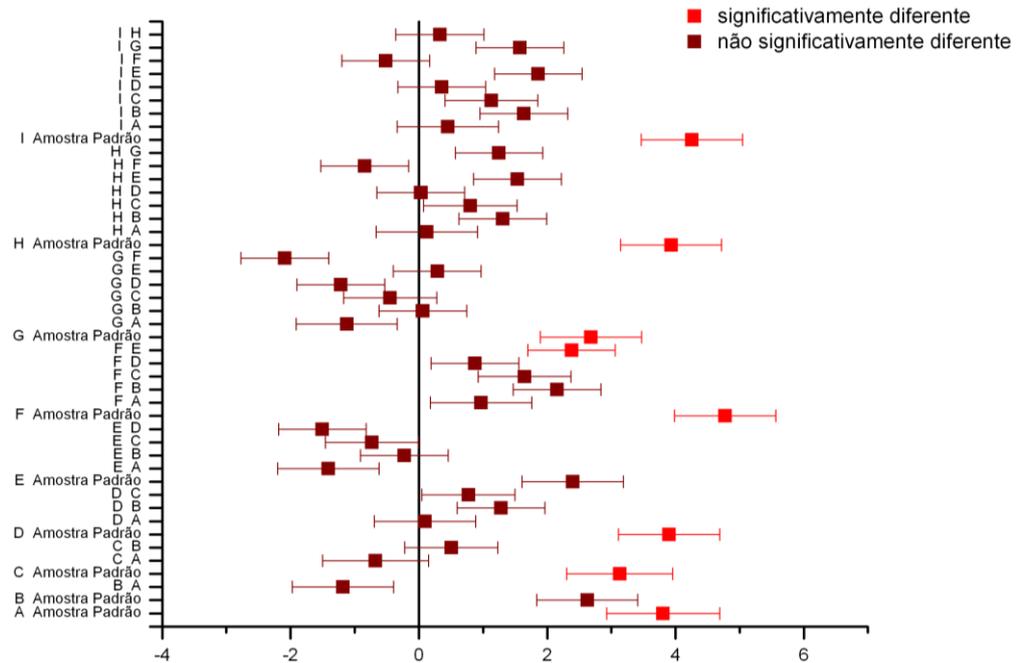
Figura 11 – Tenacidade das amostras



Fonte: Autoria Própria (2023).

Para avaliar se há diferenças significativas entre os grupos foi utilizado o Teste de Tukey, que é um teste de comparação múltipla, que consiste em comparar todos os pares de médias e se baseia na diferença mínima significativa (OLIVEIRA, 2019). A Figura 12, demonstra de maneira gráfica a comparação entre todas as amostras em pares.

Figura 12 – Teste de Tukey



Fonte: Autoria Própria (2023).

Com exceção da amostra B, o gráfico acima mostra que todas as amostras engomadas quando relacionadas com a amostra padrão são significativamente diferentes, confirmando o que foi visto na Figura 11, mas quando se compara uma amostra engomada com outra amostra engomada, a diferença não se mostra significante.

A partir destes resultados é possível afirmar que a engomagem dos fios altera a resistência dos fios de forma positiva. Supõe-se que a diferença de carga de goma não pode ser avaliada estatisticamente por conta das dificuldades durante a engomagem. Fatores como a irregularidade do filme de goma formado na extensão do fio podem gerar grandes variações nos testes realizados, bem como o número reduzido de amostras.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como proposta inicial um estudo acerca da influência do processo de engomagem no aumento da carga de ruptura de fios têxteis, e sobretudo a importância do processo de engomagem. Sendo validado estatisticamente que, a engomagem produz uma melhora na carga de ruptura de fios engomados quando comparados com fios não engomados.

As dificuldades encontradas como a falta de equipamento adequado para a engomagem das amostras podem ter levado a uma variação maior nos resultados de tenacidade obtidos, ou a previsibilidade do estudo. Desta forma, para trabalhos futuros, necessita-se de uma melhor adequação para o processo de engomagem, que permita um melhor controle de pressão aplicada aos fios e que facilite a engomagem de um comprimento de fio maior.

REFERÊNCIAS

- ABRAPA (Associação Brasileira dos Produtores de Algodão). **Algodão no Mundo**. 2022. Disponível em: <https://www.abrapa.com.br/Paginas/dados/algodao-no-mundo.aspx>. Acesso em: 20 out. 2022.
- ADANUR, S. **Handbook of weaving**. Boca Raton: CRC Press, 2001.
- AHMED, T. *et al.* **Evaluation of sizing parameters on cotton using the modified sizing agent**. *Cleaner Engineering and Technology*, v. 5, 1 dez. 2021.
- ALCÂNTARA, M. R.; DALTIM, D. **A química do processamento têxtil**. *Química Nova*, v. 19, n. 3, p. 320–330, 1996.
- ALVARENGA, L. G. S. **Eficiência da Seleção para Qualidade da Fibra no Algodoeiro (*Gossypium hirsutum*)**. Dissertação—Goiânia: Universidade Federal de Goiás, nov. 2018.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM D2256/D2256M-21: Standard Test Method for Tensile Properties of Yarns by the Single-Strand Method**. In: *Annual Book of ASTM Standards*, 2021. 12 p.
- BELTRAME, Leocádia Terezinha Cordeiro. **Caracterização de Efluente Têxtil e Proposta de Tratamento**. 2000. 179 f. Dissertação (Mestrado em Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologias Regionais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2000. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/15866>. Acesso em: 13 nov. 2022.
- CEARÁ (ESTADO). SECRETARIA DE EDUCAÇÃO. **Controle de Qualidade Químico na Indústria Têxtil**. Fortaleza, 2007.
- CORREA, F. A. **A fibra e os subprodutos**. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE POTASSA. *Cultura e adubação do algodoeiro*. São Paulo, p. 509-540, 1965.
- DECON, Hubei. **What is the Best Sizing Chemical for Textile?** 2018. Disponível em: <https://www.polyestermfg.com/what-is-the-best-sizing-chemical-for-textile/>. Acesso em: 20 out. 2022.
- FURTADO, E. J. DE A. A. **A GESTÃO DE MANUTENÇÃO EM EMPRESAS TEXTEIS DE GRANDE PORTE**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, jul. 2001.
- GANDHI, K. L. **Woven textiles: Principles, developments and applications**. Cambridge, 2012. Disponível em: <www.woodheadpublishing.com>.
- GOSWAMI, B. C.; ANANDJIWALA, R. D.; HALL, D. M. **Textile sizing**. [s.l.] Marcel Dekker, 2004.
- JACKSON, D. S. **STARCH - Structure, Properties, and Determination**. Em: *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. [s.l.] Elsevier, 2003. p. 5561–5567.

KOVAČEVIĆ, S. et al. **Synthesis of Corn Starch Derivatives and Their Application in Yarn Sizing**. *Polymers*, v. 12, n. 6, p. 1251, 30 maio 2020.

LOBO, R. N.; LIMEIRA, E. T. N. P.; MARQUES, R. DO N. **Fundamentos da Tecnologia Têxtil - Da Concepção da Fibra ao Processo de Estamparia**. 1. ed. [s.l.] Érica, 2014.

MALUF, E.; KOLBE, W. **Dados técnicos para indústria têxtil**. 2. ed. São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo: ABIT - Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção, 2003.

MOGAHZY, Y. **Friction and surface characteristics of cotton fibers**. Em: *Friction in Textile Materials*. [s.l.] Elsevier, 2008. p. 225–252.

MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**. 3. ed. New York: John Wiley and Sons, 1991.

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

OLIVEIRA, B. **Teste de Tukey para Comparações Múltiplas** 2019. Disponível em: <https://statplace.com.br/blog/comparacoes-multiplas-teste-de-tukey/>. Acesso em: 09 jun. 2023.

SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial). **Fiação volume 1**. Brasília: Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil, 2016. v. 1

SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial). **Tecelagem**. 1. ed. São Paulo: SENAI-SP Editora, 2015a.

SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial). **Tecnologia dos processos têxteis**. 1. ed. São Paulo: SENAI-SP, 2015b.

SKOOG, Douglas A. *et al.* **Fundamentos de Química Analítica**: Tradução da 9ª edição norte-americana. São Paulo: Cengage Learning Brasil, 2015. E-book. ISBN 9788522121373. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522121373/>. Acesso em: 21 nov. 2022.

TAKEBIRA, U. M. et al. **A Regular Study on Yarn Count, Size Box Temperature and Machine Speed to Increase Weaving Efficiency of Cotton Fabric**. *Journal of Textile Science and Technology*, v. 06, n. 04, p. 168–176, 2020.

TAUSIF, M. *et al.* **Cotton in the new millennium: advances, economics, perceptions and problems**. *Textile Progress*, v. 50, n. 1, p. 1–66, 2018.

TRALLI, J. V. **Engomagem**: Um processo interativo. Fortaleza: XIX Congresso Nacional de Técnicos Têxteis, 2000.

VALLADARES NETO, J. et al. **Boxplot: um recurso gráfico para a análise e interpretação de dados quantitativos**. **ROBRAC**, 3 abr. 2017.

WULLNER, F. **EKAGUM R: Easy-to-Handle Sizing Agent for Warps**. Disponível em: <https://www.drpetry.de/en/textile-news/ekagum-r-easy-to-handle-sizing-agent-for-warps/>. Acesso em: 29 out. 2022.