

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE BELAS ARTES  
CURSO DE CONSERVAÇÃO-RESTAURAÇÃO DE BENS CULTURAIS MÓVEIS

Maria Vitória Silva Pereira Freitas

**Uso de hidrogel de agarose para a limpeza do patrimônio têxtil**

Belo Horizonte

2025

Maria Vitória Silva Pereira Freitas

**Uso do hidrogel de agarose para a limpeza do patrimônio têxtil**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Conservação-Restauração de Bens Culturais Móveis, do Curso de Conservação-Restauração de Bens Culturais Móveis da Escola de Belas Artes da Universidade Federal de Minas Gerais.

Orientador: Profa. Dra. Amanda Cordeiro.

Coorientador: Profa. Dra. Camilla Henriques Maia de Camargos.

Belo Horizonte

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE BELAS ARTES

COLEGIADO DO CURSO DE GRADUAÇÃO DE CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO DE  
BENS CULTURAIS MÓVEIS

### **FOLHA DE APROVAÇÃO**

"Uso de géis na limpeza do patrimônio têxtil: um estudo do desempenho do gel de agarose a partir da aplicação de pressão"

**Maria Vitoria Silva Pereira Freitas**  
**Discente**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Graduação de Conservação e Restauração de Bens Culturais Móveis, como requisito para obtenção de título de bacharel em Conservação e Restauração de Bens Culturais Móveis, aprovado em 31/01/2025 pela banca constituída pelos membros:

**Profa. AMANDA CRISTINA ALVES CORDEIRO**  
Orientadora

**Profa. CAMILLA HENIQUES MAIA DE CAMARGOS**  
Coorientadora

**Profa. SARAH BERNARDO**  
Examinadora

Belo Horizonte, 31 de janeiro de 2025.



Documento assinado eletronicamente por **Camilla Henriques Maia de Camargos, Professora do Magistério Superior**, em 06/02/2025, às 10:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

Documento assinado eletronicamente por **Sarah Bernardo Souza Almeida, Usuário**



**Externo**, em 10/02/2025, às 13:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Amanda Cristina Alves Cordeiro, Professora do Magistério Superior**, em 17/02/2025, às 15:55, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site  
[https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?  
acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador  
**3946871** e o código CRC **BAD76F4F**.

---

**Referência:** Processo nº 23072.202401/2025-11

SEI nº 3946871

Este trabalho é dedicado ao meu esforço, e ao Nino.

## **AGRADECIMENTOS**

Nesta reta final da minha graduação, gostaria de agradecer aos meus pais, Valéria e Antônio Cesar, e minha irmã, Júlia, por me apoiarem em todas as minhas escolhas profissionais e acadêmicas.

Também sou grata aos amigos queridos, por sempre estarem ao meu lado, não importa a distância. Destaque à Sara Almeida, por sua grande parceria durante os 6 anos no curso de Conservação e Restauração, e por ser um grande apoio emocional na finalização deste ciclo.

Agradeço profundamente à Glenda Melo, Cláudia Amorim, e Prof.<sup>a</sup> Luciana Bonadio, por todo carinho, suporte acadêmico e conhecimentos compartilhados comigo - vocês me inspiram!

E, por fim, sou grata à minha orientadora, Amanda Cordeiro, e coorientadora, Camilla Camargos, por me guiarem nessa reta final da graduação.

Agradeço a todos os citados, e mais várias pessoas que fizeram parte da minha caminhada durante a graduação. Obrigada por sempre acreditarem no meu potencial profissional e acadêmico.

## RESUMO

Este estudo investiga a eficácia do uso de hidrogel de agarose na limpeza de quatro tipos de têxteis: algodão, linho, lã e seda, todos em uma trama simples. A pesquisa avalia o impacto de diferentes pressões aplicadas nas amostras - P0 (sem peso), P1 (peso moderado) e P2 (peso alto) - no desempenho da limpeza, a partir de análises colorimétricas e visuais, levando em consideração interações entre o gel, as amostras têxteis manchadas com uma tinta hidrossolúvel e visível sob luz ultravioleta, e os suportes de papel mata-borrão sobre os quais essas amostras estavam posicionadas. Os resultados demonstram uma variabilidade significativa entre as tipologias. O algodão e o linho apresentaram melhor desempenho sob pressão moderada (P1), sugerindo que uma pressão mediana no sistema permite um contato ideal entre o gel e o tecido. A lã e a seda, no entanto, apresentaram um desempenho instável, devido às suas propriedades moleculares e estruturais exclusivas, como capilaridade reduzida e sensibilidade ao estresse induzido pela pressão. Os dados obtidos ao longo dos experimentos destacam a complexa interação de fatores mecânicos, químicos e físicos na limpeza de têxteis e ressaltam a necessidade de abordagens personalizadas para diferentes tipologias têxteis nas práticas de conservação para minimizar riscos e otimizar resultados.

**Palavras-chave:** Têxteis. Agarose. Limpeza. Hidrogel. Fibras. Pressão.

.

## ABSTRACT

This study investigates the effectiveness of using agarose hydrogels to clean four types of textile: cotton, linen, wool and silk, all in a single weave. The research evaluates the impact of different pressures applied to the samples - P0 (no weight), P1 (moderate weight) and P2 (high weight) - on cleaning performance, based on colorimetric and visual analyses, taking into account interactions between the gel, the textile samples stained with a water-soluble dye visible under ultraviolet light, and the blotting paper supports on which these samples were positioned. The results show significant variability between the typologies. Cotton and linen performed best under moderate pressure (P1), suggesting that a medium pressure in the system allows optimum contact between the gel and the fabric. Wool and silk, however, showed unstable performance due to their unique molecular and structural properties, such as reduced capillarity and sensitivity to pressure-induced stress. The data obtained throughout the experiments highlights the complex interaction of mechanical, chemical and physical factors in textile cleaning and underscores the need for customized approaches for different textile typologies in conservation practices to minimize risks and optimize results.

**Keywords:** Textiles. Agarose. Cleaning. Hydrogels. Fibers. Pressure.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Monômero de agarobiose .....	24
<b>Figura 2</b> - Processo de gelificação da agarose.....	25
<b>Figura 3</b> - Sistema mata-borrão, amostra de tecido e hidrogel de agarose.....	27
<b>Figura 4</b> - Esquema representativo do tafetá ou ligamento simples.....	28
<b>Figura 5</b> - Demonstrativo das manchas nas amostras.....	30
<b>Figura 6</b> - Representação do espaço CIELab. ....	31
<b>Figura 7</b> - Esquema do formato aproximado do hidrogel de agarose após resfriamento. ....	32
<b>Figura 8</b> - Preparo mistura de glicerina e água deionizada. ....	33
<b>Figura 9</b> - Análise colorimétrica prévia aos experimentos de limpeza. ....	34
<b>Figura 10</b> - Medição da temperatura do gel após aquecimento.....	35
<b>Figura 11</b> - Disposição do sistema após vedação com filme de poliéster e pesos.....	36
<b>Figura 12</b> - Exemplo de análise dos géis sob luz ultravioleta. ....	37
<b>Figura 13</b> - Imagens de microscopia eletrônica de varredura das fibras têxteis estudadas. ....	39
<b>Figura 14</b> - Gráfico dos resultados de $\Delta E$ por peso aplicado em cada tipologia têxtil.....	42
<b>Figura 15</b> - Manchas nas amostras têxteis, P0-R1 (após experimentos). ....	52
<b>Figura 16</b> - Manchas nas amostras de mata-borrão, P0-R1 (após experimentos). ....	52
<b>Figura 17</b> - Manchas nas amostras têxteis, P0-R2 (após experimentos). ....	53
<b>Figura 18</b> - Manchas nas amostras de mata-borrão, P0-R2 (após experimentos). ....	53
<b>Figura 19</b> - Manchas nas amostras têxteis, P0-R3 (após experimentos). ....	54
<b>Figura 20</b> - Manchas nas amostras de mata-borrão, P0-R3 (após experimentos). ....	54
<b>Figura 21</b> - Manchas nas amostras têxteis, P1-R1 (após experimentos). ....	55
<b>Figura 22</b> - Manchas nas amostras de mata-borrão, P1-R1 (após experimentos). ....	55
<b>Figura 23</b> - Manchas nas amostras têxteis, P1-R2 (após experimentos). ....	56
<b>Figura 24</b> - Manchas nas amostras de mata-borrão, P1-R2 (após experimentos). ....	56
<b>Figura 25</b> - Manchas nas amostras têxteis, P1-R3 (após experimentos). ....	57
<b>Figura 26</b> - Manchas nas amostras de mata-borrão, P1-R3 (após experimentos). ....	57
<b>Figura 27</b> - Manchas nas amostras têxteis, P2-R1 (após experimentos). ....	58
<b>Figura 28</b> - Manchas nas amostras de mata-borrão, P2-R1 (após experimentos). ....	58
<b>Figura 29</b> - Manchas nas amostras têxteis, P2-R2 (após experimentos). ....	59
<b>Figura 30</b> - Manchas nas amostras de mata-borrão, P2-R2 (após experimentos). ....	59
<b>Figura 31</b> - Manchas nas amostras têxteis, P2-R3 (após experimentos). ....	60
<b>Figura 32</b> - Manchas nas amostras de mata-borrão, P2-R3 (após experimentos). ....	60

## **LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1</b> - Métodos de limpeza do patrimônio têxtil.....	19
<b>Tabela 2</b> - Classificações dos géis utilizados na higienização do patrimônio têxtil.....	22
<b>Tabela 3</b> - Número de amostras de acordo com as variáveis definidas.....	29
<b>Tabela 4</b> - Valores colorimétricos para as amostras.....	41
<b>Tabela 5</b> - Resultados das análises visuais.....	44

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**A** - Área

**CIELab** - *Commission Internationale de l'Eclairage-Lab*

**F** - Força

**g** - Gravidade

**m** - Massa

**N** - Newtons

**P** - Pressão

**Pa** - Pascal

**P0** - Peso 0

**P1** - Peso 1

**P2** - Peso 2

**R1** - Rodada 1

**R2** - Rodada 2

**R3** - Rodada 3

**TCC** - Trabalho de Conclusão de Curso

**USB** - *Universal Serial Bus*

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>6</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>9</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....</b>	<b>10</b>
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>I. A LIMPEZA NA CONSERVAÇÃO TÊXTIL .....</b>	<b>17</b>
I.1. Métodos de Limpeza.....	18
I.2. Géis .....	19
1.2.1. O hidrogel de agarose .....	23
<b>II. ANÁLISES EXPERIMENTAIS.....</b>	<b>27</b>
II.1. Metodologia e critérios .....	28
II.2. Cronograma e roteiro dos experimentos.....	33
<b>III. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>38</b>
III.1. Características e composição das fibras têxteis .....	38
III.2. Categorização dos resultados.....	40
III.3. Resultados obtidos .....	41
<b>CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>48</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>49</b>
<b>ANEXO: IMAGENS DOS RESULTADOS .....</b>	<b>52</b>



## INTRODUÇÃO

Os objetos em suporte de tecido originados durante a história da humanidade, são, em sua grande parte de uso comum, ou seja, peças entranhadas à rotina do ser humano, como vestimentas, acessórios de auxílio doméstico, estofados, tapeçarias e outros. Devido ao estabelecimento de uma percepção banalizada dos usuários desses bens em relação à sua importância histórica e cultural - visto que, além dos objetos têxteis estarem presentes em peso ao cotidiano, estes estão diretamente ligados à atividades historicamente associadas ao gênero feminino, como o cuidado familiar e a própria fabricação destes materiais - poucos destes sobreviveram aos danos e a deterioração ao longo de seus anos de vida útil, e uma parcela ainda menor mantém-se presente em museus e instituições dedicadas à preservação da memória.

Teresa Cristina de Paula, conservadora na área dos patrimônios têxteis, destaca em seu artigo “Tecidos no Museu: argumentos para uma história das práticas curatoriais no Brasil”, a construção dessa noção de insignificância no que se refere aos objetos têxteis.

No Brasil, a tecelagem foi, historicamente, uma atividade de escravos (...), e, posteriormente, dos homens libertos e mulheres pobres, ou seja: uma atividade comum, de gente comum e, mesmo, considerada como “inferior”. Em São Paulo, no final do século XIX, a profissão de costureira era associada à prostituição urbana, provavelmente devido ao fato de as atividades de fiar, tecer e costurar continuarem ligadas à imagem da escravidão doméstica, reforçada, ainda, pelo fato de a maioria das costureiras ter a cor da pele parda.

(PAULA apud GIBERT, 1993, p. 23-24)

Assim, é perceptível que toda essa convicção social de inferioridade acerca do material têxtil, remonta à origem e constituição do Brasil, passando por um lugar de discriminação racial e de gênero. Essa percepção influencia assim a dificuldade de identificação da proveniência, natureza, e abrangência, das coleções artísticas e históricas do patrimônio em tecido ao redor do país.

A conservação de materiais têxteis no Brasil é, dessa maneira, um campo um tanto quanto desafiador, devido à falta de reconhecimento da relevância artística e histórica destes objetos, mas também pela baixa adesão de profissionais na área em relação aos demais domínios da conservação e restauração no país. Este cenário tem se modificado lentamente, devido ao crescente interesse dos conservadores-restauradores brasileiros em não somente estudar os acervos de tecidos ao redor do país, assim como suas singularidades técnicas e

materiais, mas também produzir pesquisas e publicações que se adaptem às peculiaridades das coleções têxteis brasileiras.

Considerando os pontos citados acima, este trabalho pretende somar e expandir bibliografia brasileira dirigida às pesquisas científicas relacionadas ao patrimônio têxtil do país, sua preservação, conservação e restauração. Objetiva-se também a viabilização da construção de uma nova percepção a respeito da dimensão cultural acerca dos objetos históricos e artísticos em suporte têxtil por meio da difusão deste conhecimento.

De maneira específica, todos os experimentos realizados para este trabalho, assim como todas as informações obtidas e organizadas para a escrita do texto, têm como intuito a consolidação do uso do hidrogel de agarose como um recurso de limpeza eficaz e não invasivo não só para a conservação têxtil, mas também para outros tipos de suporte. A partir disso, tentativa da concepção de um esboço de metodologia para a aplicação do hidrogel utilizando pesos para um possível aumento da efetividade de limpeza, também se torna um objetivo.

Para isso, este Trabalho de Conclusão de Curso apresentará a análise da eficácia da aplicação de pressão no método de higienização de tecidos com uso do gel de agarose, a partir de uma revisão de estudos prévios a respeito desta técnica de limpeza. De forma a introduzir os experimentos, há uma breve descrição dos tipos de sujidade e métodos de higienização comumente aplicados aos patrimônios têxteis, assim como um aprofundamento nas características físico-químicas do gel de agarose. Então, serão descritos os ensaios realizados em uma atmosfera controlada, em protótipos de diferentes tipologias de tecido manchados artificialmente com tinta de caneta marca-texto, para serem submetidos à aplicação do gel sob variadas pressões. Por fim, a obtenção de dados será exibida por meio de tabelas e gráficos, e posteriormente discutida, avaliando a efetividade do método de acordo com as características de cada uma das amostras têxteis usadas no experimento.

## I. A LIMPEZA NA CONSERVAÇÃO TÊXTIL

Não se sabe ao certo quando houve a inserção do patrimônio têxtil nos espaços museológicos brasileiros, entretanto, uma das coleções de têxteis sistematizada mais antiga da Universidade de São Paulo é a coleção Sertório, criada em 1890, no atual Museu Paulista, em São Paulo (PAULA, 2006, p. 257). Esta é uma das primeiras coleções do Museu a qual, além de vários outros materiais históricos, é constituída por objetos têxteis históricos e etnográficos, que faziam parte da coleção particular do Coronel Joaquim Sertório, antigo proprietário de terras naquela região.

Tendo em vista a época aproximada do reconhecimento dos objetos em suporte têxtil como materiais que carregam uma memória e então sua importância como parte de acervos museológicos, os procedimentos de conservação e restauração aplicados aos mesmos naquele período, não tinham uma base científica sólida e fundamentada em pesquisas e estudos. Desta maneira, de acordo com Rey (2019, p. 55) a higienização dos objetos têxteis museológicos na Espanha era realizada segundo os critérios que eram seguidos nas casas, ou seja, como se estes continuassem a ser objetos de consumo e, portanto, priorizando a sua integridade estética acima de tudo.

A partir da segunda metade do século XX, o interesse na área de conservação têxtil tornou-se crescente, havendo em 1973, a inauguração do Departamento de Conservação Têxtil no MET - *Museum of Metropolitan Art*, em Nova York, e em 1975, a abertura do *Textile Conservation Centre*, pela Universidade de Southampton, Inglaterra. Desde então os critérios para a aplicação de métodos de limpeza do patrimônio têxtil tornaram-se muito mais cautelosos tanto com a materialidade do objeto, quanto com a sua bagagem histórica.

Em seu livro *Textile Conservator's Manual*, Sheila Landi apresenta o conceito de *holy dirt*, ou sujidade sagrada, o qual traz à tona a importância do discernimento entre a submissão ou não da peça a um processo de higienização. Este termo, de acordo com a autora, diz respeito à sujidade que carrega consigo uma parte importante da memória do objeto, se tornando intrínseca à leitura histórica do mesmo. Desta maneira, a escolha de remoção ou não destes resquícios privilegia o mantimento ou apagamento de parte da história deste artefato a partir de um contexto documental e também científico, uma vez que ambas permanência e remoção da sujidade podem trazer consequências ao seu suporte (BROOKS, EASTOP, 1996).

## I.1. Métodos de Limpeza

Tomando como partida os tópicos apresentados acima, a limpeza do patrimônio têxtil deve ser realizada ponderando-se os critérios éticos em relação à sua trajetória histórica, estado de conservação da peça, e considerando as características físico-químicas da sua materialidade e da composição da sujidade depositada no mesmo. Dessa maneira, neste texto, tomou-se como base a categorização dos diferentes métodos de limpeza de objetos têxteis de acordo com Viciosa (2018) o qual determina que estes podem ser divididos em mecânico ou físico, físico-químico e químico. É importante destacar que alguns autores utilizam outras formas de classificação destas técnicas, como Landi, que estabelece quatro categorias de limpeza: limpeza de superfície, limpeza aquosa, limpeza a seco (com solventes orgânicos) e limpeza local (REY apud LANDI, 2017). Além disso, podem haver outras técnicas desconhecidas pela autora, que não são mencionadas neste texto, porém, os métodos citados estarão indicados na tabela abaixo, de acordo com a organização sugerida.

A limpeza mecânica ou física é aquela realizada de forma a remover os detritos superficiais, sendo considerada assim de caráter imprescindível à manutenção dos objetos têxteis (VICIOSA, 2018). Esta pode ser realizada a partir do uso de aspiradores de sucção baixa ou controlada (aspiraçāo), esponjas e borrachas (fricção), trinchas e pinceis macios (varredura), sopradores manuais, e fitas adesivas - realizando a remoção a partir da adesão da sujidade à fita. Em alguns textos também são citados os métodos de limpeza física realizados por meio da raspagem com bisturis e outros instrumentos próprios, e a higienização superficial utilizando-se lasers.

Os métodos de limpeza físico-químicos são realizados a partir de um sistema aquoso, por meio da imersão do têxtil em água pura (deionizada ou destilada) ou com adição de tensoativos e aditivos, podendo-se utilizar da agitação para desprendimento da sujidade; ou a partir do uso da capilaridade, aplicando-se um material absorvente sobre o objeto para reter os detritos. Além dos sistemas aquosos, tem-se também os sistemas de gel, os quais podem ser usados tanto para dispersão de solventes quanto para absorção de pequenas partículas e resíduos indesejados, também a partir da ação da capilaridade. Levando em consideração o uso de substâncias aquosas nos métodos físico-químicos de limpeza, estes podem acarretar mudanças dimensionais, de cor e de pH, principalmente o procedimento de imersão do objeto têxtil, visto que o mesmo gera um relaxamento exacerbado das fibras, podendo acelerar o processo de decomposição das mesmas, além da dissolução de tintas e corantes.

Os processos químicos de limpeza do patrimônio têxtil referem-se aos procedimentos que usam solventes orgânicos para remoção de manchas e sujidades. Viciosa (2018) afirma em seu texto *Conservación y Restauración de Textiles* que “historicamente, esse método é usado quando a ação dos sistemas de limpeza aquosos não é eficaz ou quando as características do tecido, em nível tecnológico ou de estado de conservação, impedem o uso de procedimentos aquosos” (2018, tradução nossa). Devido à agressividade das reações químicas destes solventes em relação às fibras dos tecidos, o que pode causar rasgos e perdas de material, este tipo de tratamento tem sido substituído por métodos alternativos, como, principalmente, os géis.

**Tabela 1** - Métodos de limpeza do patrimônio têxtil.

Categorias	Métodos	Instrumentos/ferramentas
Mecânico/Físico	aspiração	aspiradores de baixa sucção
	fricção	esponjas e borrachas
	varredura	trinchas e pincéis macios
	raspagem	bisturis e ferramentas de raspagem
	outros	lasers
Físico-químico	sistemas aquosos	água (destilada ou deionizada)
		água (destilada ou deionizada) + tensoativos
		água (destilada ou deionizada) + tensoativos + aditivos
	sistemas gelificados	hidrogéis, enzimáticos e outros
Químico	solventes orgânicos	solventes orgânicos

Fonte: Maria Vitória Freitas, 2025

## I.2. Géis

O uso de géis no campo da conservação e restauração começou a ganhar destaque na década de 1980, com a busca por métodos de limpeza mais controlados, seletivos e não invasivos. Richard Wolbers apresentou em 1988 o seu livro *Cleaning Painted Surfaces: Aqueous Methods*, um dos primeiros textos a abordar o uso de sistemas gelificados na higienização de objetos patrimoniais. Segundo Wolbers (1988), "os sistemas gelificados oferecem uma alternativa altamente controlada para a remoção de contaminantes sem

prejudicar as superfícies delicadas" (tradução nossa). Os sistemas propostos pelo autor "agem basicamente como modificadores dos solventes puros, soluções enzimáticas, e assim por diante, que são tradicionalmente usados nos procedimentos de limpeza" (BAGLIONI *et al*, 2009).

A partir disso, o emprego de géis no âmbito da conservação de itens históricos e artísticos tornou-se mais recorrente e pesquisado, expandindo suas tipologias e aplicações em diversos suportes.

Um gel é uma substância viscosa composta por um solvente (geralmente água), e um polímero — macromoléculas formadas por longas cadeias de monômeros. De acordo com Thakur *et al.* (2015), "a estrutura polimérica dos géis permite uma retenção precisa de solventes, o que é crucial para a eficácia na remoção de impurezas sem comprometer a integridade do objeto". Essas cadeias poliméricas possuem flexibilidade para se entrelaçar ou formar ligações cruzadas, criando uma rede tridimensional que define as propriedades únicas dos géis, como a capacidade de aprisionar solventes, controle sobre a liberação de umidade ou substâncias ativas e a modulação de sua rigidez ou elasticidade conforme a densidade da rede polimérica e as condições externas, como temperatura e pH. Essas características tornam os géis ferramentas ideais na conservação, permitindo uma aplicação controlada e precisa, evitando danos aos suportes enquanto maximizam a eficiência na remoção de sujidades ou resíduos.

Tendo isso em vista, quanto maior a quantidade de solvente preso na cadeia polimérica, maior será a viscosidade do gel (SPERLING, p. 110, 2006). Isso ocorre uma vez que a rede polimérica restringe o movimento do solvente, impedindo que ele flua facilmente, como em líquidos puros. A relação entre o solvente e a rede polimérica define a consistência do gel, que pode ser mais fluida ou mais rígida dependendo da concentração e do tipo de polímero utilizado.

As forças intermoleculares como ligação de hidrogênio, forças de Van der Waals e interações iônicas entre os grupos poliméricos e o solvente definem a capacidade de absorção e retenção de solvente, o que impacta em suas características de viscosidade e elasticidade. Como exemplo disso, tem-se o hidrogel de agarose, no qual as ligações de hidrogênio entre o polímero e o solvente, permitem a formação de uma estrutura rígida, mas flexível.

Os géis utilizados na conservação do patrimônio têxtil podem ser classificados de diversas formas, levando em consideração sua origem, composição e características estruturais. Assim, a subdivisão em naturais e sintéticos está relacionada à origem do material utilizado

para formar a rede polimérica. Géis naturais são derivados de fontes biológicas, enquanto os géis sintéticos são produzidos por processos químicos industriais.

A classificação dos géis em aquosos, orgânicos e géis nanoestruturados, por sua vez, está baseada na composição do gel e na escala das partículas ou substâncias envolvidas em sua formação. Os géis aquosos têm a água como solvente principal, os orgânicos são dispersos em solventes orgânicos ou estruturas com predominância de componentes orgânicos, e os géis nanoestruturados possuem dimensões estruturais ou partículas na escala nanométrica.

Além disso, a rigidez dos géis está relacionada à resistência da rede polimérica e à capacidade de deformação. Géis rígidos possuem uma rede polimérica densa, oferecendo menos flexibilidade, enquanto os semirrígidos e fluidos apresentam redes mais flexíveis, permitindo maior deformação.

O agar-agar é um hidrocolóide<sup>1</sup>, derivado de algas marinhas, composta por dois polissacarídeos principais: a agarose e a agaropectina. Embora proveniente do agar, a agarose destaca-se por sua maior pureza e flexibilidade, além de oferecer um controle mais preciso da viscosidade. Ambos agarose e agar-agar possuem as características de termorreversibilidade e hidrofilia.

Outro gel composto por polissacarídeos naturais é a goma guar, um gel biodegradável, não tóxico e flexível extraído das sementes da planta leguminosa *Cyamopsis tetragonolobus* (BARAK *et al*, 2014). Além destes, há também a goma xantana, gel obtido dos polissacarídeos produzidos pela bactéria *Xanthomonas campestris*, e a metilcelulose, composta de polímeros de celulose modificados quimicamente, ambos compartilhando as mesmas características de hidrossolução e biodegradabilidade.

Os géis sintéticos, como o Carbopol, são derivados do ácido acrílico e formam géis de alta viscosidade em soluções aquosas, além de serem termorresistentes. Sua estrutura química permite a absorção de substâncias orgânicas (BEZÚR *et al*, 2007). O PVA (álcool polivinílico), por sua vez, é formado pela polimerização de acetato de vinila, que após hidrólise, torna-se um polímero hidrofílico com propriedades de formação de filme (filmogênicas), o qual tem como características a resistência à umidade e flexibilidade.

---

<sup>1</sup> Um hidrocolóide é a mistura de uma substância dividida em finas partículas insolúveis (chamada fase dispersa), usualmente de dimensões entre 1 nm e 1000 nm, em água (MOREIRA apud GRISWOLD, 2010).

A poliacrilamida, outro gel sintético, é formada pela polimerização da acrilamida, e pode ser ajustada para se tornar mais rígida ou flexível dependendo da necessidade da aplicação. Este gel apresenta alta viscosidade, capacidade de retenção de água e solventes, pode remover adesivos quando misturado à substâncias surfactantes, ou seja, com a capacidade de diminuir a tensão superficial da mistura (HAMZAVI *et al*, 2024).

Já os géis enzimáticos, que combinam polímeros e enzimas, atuam de maneira seletiva para quebrar resíduos orgânicos, como proteínas e gorduras, sem afetar as fibras do tecido. Estes são adequados para remoção de manchas e materiais biológicos.

Por fim, os géis nanocompósitos incorporam nanopartículas (como óxidos metálicos ou nanotubos de carbono) em sua matriz polimérica, conferindo ao gel características aprimoradas como maior capacidade de adsorção. Este tipo de gel pode ser natural ou sintético, assim como pode ser dissolvido em substâncias aquosas ou orgânicas.

Abaixo encontra-se uma tabela (Tabela 2) indicando cada um desses géis de acordo com as classificações apresentadas acima. Para a elaboração deste compilado, utilizou-se como base as informações apresentadas nos textos citados neste tópico (1.2. Géis), mas principalmente a tabela apresentada no artigo *An Overview of Gel-based Cleaning Approaches for Art Conservation*, apresentado em 2024 por Hamzavi *et al*.

**Tabela 2** - Classificações dos géis utilizados na higienização do patrimônio têxtil.

Gel	Origem	Composição principal	Tipo de solvente	Rigidez	Propriedades	Aplicações
Agar-agar	Natural	Agarose e Agaropectina	Aquoso	Semi-rígido (> agarose)	Hidrofílico, termor-reversível	Limpeza de tecidos mais resistentes e controle de pH
Agarose	Natural	Polissacarídeo derivado de algas marinhas	Aquoso	Semi-rígido	Hidrofílico, termor-reversível, flexível, gel estável e translúcido	Tecidos delicados e superfícies frágeis
Goma Guar	Natural	Polissacarídeo de sementes de Cyamopsis	Aquoso	Viscoso	Biodegradável, hidrofílico, baixo impacto ambiental	Tecidos delicados e superfícies frágeis

Goma Xantana	Natural	Polissacaríde o derivado da bactéria <i>Xanthomonas campestris</i>	Aquoso	Viscoso	Biodegradável, hidrofílico, baixo impacto ambiental	Limpeza de materiais sensíveis à água
Metilcelulose	Natural	Polímero celulósico	Aquoso	Viscoso	Espessante hidrossolúvel	Limpeza de tecidos delicados e controle de viscosidade
Carbopol	Sintético	Polímero de ácido acrílico	Aquoso	Semi-rígido	Termor-resistente, gel translúcido	Limpeza de sujidades oleosas
Álcool Polivinílico (PVA)	Sintético	Álcool polivinílico (derivado do acetato de vinila)	Inicialmente orgânico, aquoso após hidrólise	Viscoso	Hidrofílico, filme-formador, flexível, resistente à umidade	Tratamento controlado de manchas
Poliacrilamida	Sintético	Polímero de acrilamida	Aquoso	Semi-rígido	Alta viscosidade, alta capacidade de retenção de água, ajustável para rigidez ou flexibilidade	Limpeza de têxteis com muitos detalhes
Enzimático	Natural/ sintético	Polímeros variados combinados com enzimas	Aquoso/ orgânico	Variável	Seletivo para resíduos orgânicos, biodegradável	Remoção de manchas orgânicas e materiais biológicos
Nano-estruturado	Sintético	Polímeros variados combinados com óxidos metálicos ou nanotubos	Aquoso/ orgânico (incorpora nano-partículas)	Variável	Propriedades aprimoradas com nanopartículas	Aplicações avançadas na conservação de têxteis delicados

Fonte: Maria Vitória Freitas, 2025

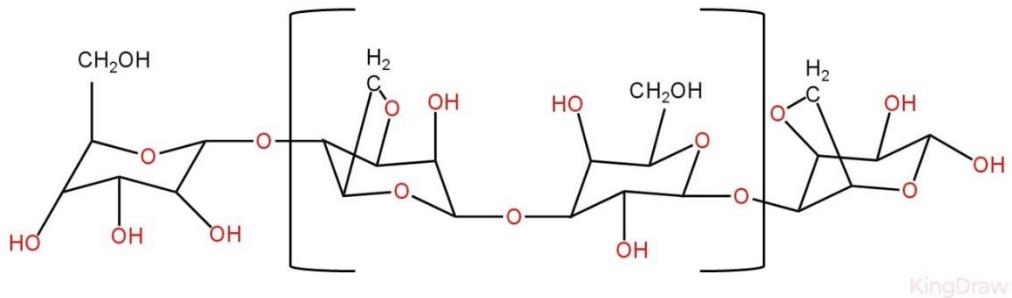
### 1.2.1. O hidrogel de agarose

O gel de agarose é um hidrocoloide translúcido extraído de algas marinhas, ou seja, uma substância que, ao ser dissolvida em água, forma um gel devido à sua afinidade com a água e à capacidade de formar estruturas gelatinosas. Os hidrocoloides podem ser naturais ou modificados. Polímeros como o PVA, o Carbopol e a Poliacrilamida são polímeros sintéticos e

não polissacarídeos naturais, ou seja, devido à sua origem artificial, não se qualificam como hidrocoloides. Dessa maneira, a agarose, é um exemplo clássico de hidrocoloide ou hidrogel, visto que seus monômeros formam uma rede tridimensional devido às interações não covalentes entre suas cadeias de polissacarídeos, o que permite a retenção de água e a formação de géis estáveis, como citado no tópico anterior.

A agarose foi inicialmente identificada e nomeada por Araki em 1956 (FOSKETT, SCHMITT, 2016) em seu texto *Structure of the Agarose Constituent of Agar-agar*, onde este faz uma análise sobre a estrutura do agar. Como já mencionado, o agar é constituído de dois polissacarídeos, a agarose e a Agaropectina, sendo a agarose uma fração de alto peso molecular composta por polímeros de galactose ligados por ligações  $\beta$ -1,3 e  $\beta$ -1,4, o que confere a ela a capacidade de formar géis com alta estabilidade térmica. Estas ligações se referem aos tipos de ligações glicosídicas, ou seja, ligações covalentes, que conectam as unidades de monossacarídeos (galactose) aos polímeros de agarose (Figura 1).

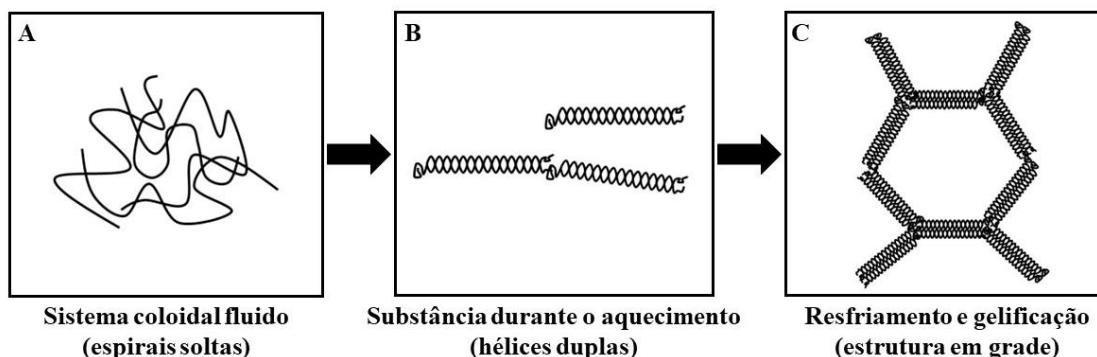
**Figura 1** - Monômero de agarobiose.



Fonte: Maria Vitória Freitas via *KingDraw*, 2025

A gelificação da agarose ocorre por meio da formação de uma rede tridimensional de macromoléculas, que se conectam por meio de ligações de hidrogênio e interações hidrofóbicas. Insolúvel em água fria, a agarose forma um gel a partir da dispersão do pó em água quente, e seguida pelo resfriamento desta mistura. Durante o resfriamento, as cadeias do polímero, que estavam em conformação aleatória (Figura 2), se reorganizam em um formato de dupla hélice (BEZÚR *et al*, 2007) (Figura 2B), estas “(...) se cruzam, e formam uma estrutura em grade, criando, então, o gel rígido. Essa estrutura confere resistência aos géis e forma os poros que permitem que a ação capilar e a difusão ocorram” (FOSKETT, SCHMITT, 2016, tradução nossa), como mostrado na Figura 2C.

**Figura 2 - Processo de gelificação da agarose.**



A – Esquema representativo da agarose após passar por aquecimento, se encontrando ainda fluida, com as espirais do polímero soltas e desorganizadas; B – Com o início do resfriamento da substância, as espirais começam a se entrelaçar, se organizando em hélices duplas, neste estágio a Agarose perde a fluidez, tornando-se uma mistura espessa; C – Após o resfriamento total da substância o sistema torna-se organizado, com as hélices duplas dispostas em uma estrutura em grade, este é o estágio final do processo de gelificação da Agarose, onde esta já se encontra completamente gelificada.

Fonte: Maria Vitória Freitas, 2025

O hidrogel de agarose pode ser preparado em diversas concentrações, geralmente variando entre 0,5% a 6%. Dessa forma, a rigidez deste gel está diretamente ligada à sua concentração, já que a densidade da rede tridimensional formada no processo de gelificação pode se tornar menor, como no caso de baixas concentrações, resultando em um gel menos rígido com menor resistência mecânica, ou então maior, com altas concentrações, se tornando um hidrocoloide mais rígido e estável fisicamente. Além disso, géis com maiores concentrações têm uma temperatura de gelificação menor ( $32\text{-}37\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), e vice-versa. Isto ocorre, uma vez que soluções menos concentradas possuem ligações intermoleculares menos densas, que estabilizam a formação inicial da rede de gel. Como o processo de formação do gel envolve a transição de configurações aleatórias para helicoidais duplas, concentrações mais baixas requerem temperaturas mais altas ( $40\text{-}45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) para superar as interações repulsivas iniciais e estabelecer essas ligações cruzadas.

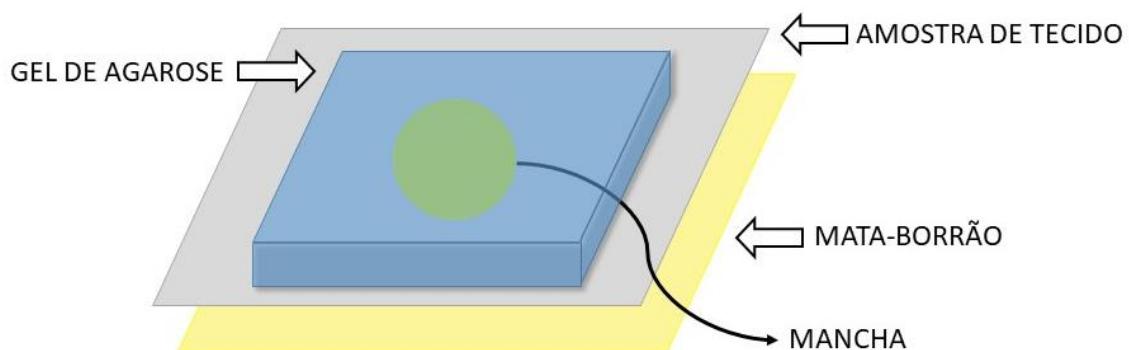
Uma outra característica do gel de agarose é a termorreversibilidade, ou seja, a capacidade de se liquefazer após reaquecimento. A gelificação da agarose ocorre com resfriamento da solução, mas, ao passar por reaquecimento em uma temperatura acima de sua temperatura de fusão (geralmente em torno de  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), a substância retorna ao seu estado líquido-viscoso, e, então, ao resfriá-la novamente, esta se gelifica da mesma maneira à anterior, recompondo a sua estrutura em rede.

Por fim, para a introdução dos experimentos realizados, deve-se entender o processo de absorção e retenção de sujidade pelo hidrogel de agarose. Quando o gel é aplicado à superfície do tecido, a água contida em sua rede tridimensional atua como um veículo de transferência para dissolução de partículas hidrofílicas. A matriz porosa do sistema gelificado permite a atuação da capilaridade e a difusão dessas impurezas para o interior do gel. Essas partículas são então retidas na rede devido à interação físico-química com os polímeros do hidrocoloide (ARAKI, 1956).

## II. ANÁLISES EXPERIMENTAIS

Os experimentos implementados neste Trabalho de Conclusão de Curso visam permitir a análise da efetividade da limpeza em função do aumento da superfície de contato entre o tecido das amostras e o gel de agarose, por meio do emprego de pressão. Para isso, foram selecionadas 4 tipologias de têxteis, sendo essas algodão, linho, lã e seda, ou seja, 2 de origem vegetal e 2 de origem animal. Estas amostras foram então submetidas a um processo de coloração restrito ao centro do tecido com uma tinta hidrossolúvel e visível sob luz ultravioleta, e, passaram por um tempo de maturação das manchas (5 meses). A aplicação do gel sobre as amostras foi realizada em um ensaio original e duas replicatas (triplicatas). Cada rodada (replicata) foi realizada em um dia distinto, quando foram feitos os experimentos gel-tecido sem uso de pressão (peso 0), e com mais duas forças diferentes (peso 1 e peso 2). Todos os procedimentos de aplicação do gel foram feitos em uma atmosfera controlada com uso de uma solução de glicerina 80% (m/m) (umidade relativa de equilíbrio de 50%) (CAMARGOS et al., 2022) e monitorada com termo-higrômetro. Sob cada uma das amostras submetidas ao experimento foram colocados pedaços de mata-borrão com tamanhos correspondentes às amostras, para tornar visível a migração da coloração para outros substratos. Todas as definições de grandezas adotadas para a realização das análises, assim como as especificações de produtos utilizados, equipamentos e materiais estão descritos no tópico seguinte. A organização do sistema mata-borrão, amostra de tecido e hidrogel de agarose é observável a seguir na Figura 3:

**Figura 3** - Sistema mata-borrão, amostra de tecido e hidrogel de agarose.

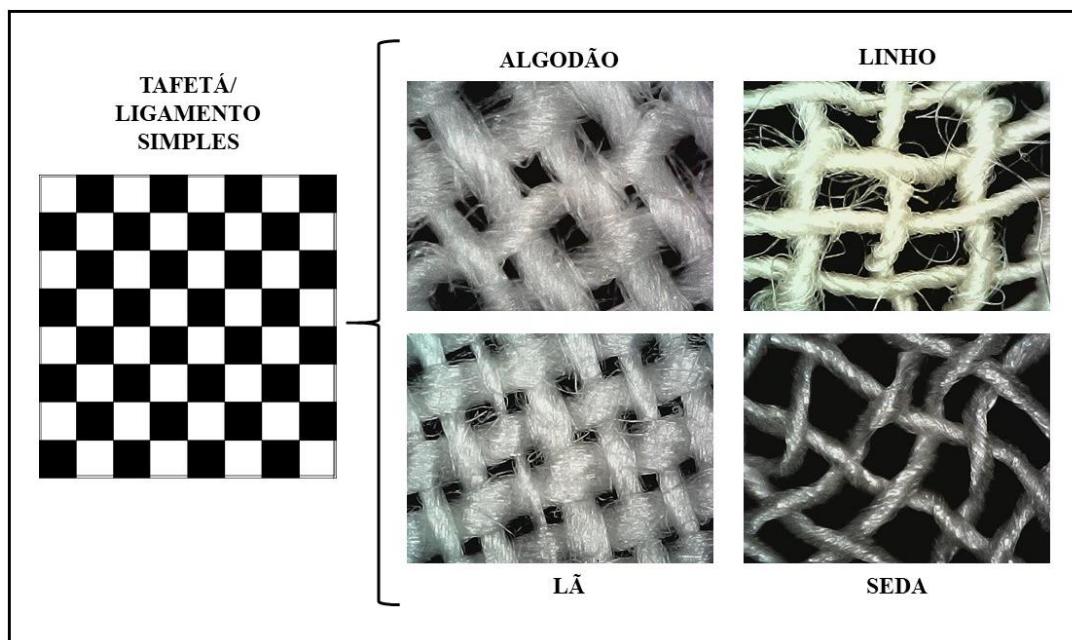


Fonte: Maria Vitória Freitas, 2025

## II.1. Metodologia e critérios

Em relação às metodologias e critérios determinados para a realização dos experimentos, inicialmente foram definidas as tipologias de tecidos conforme apontado no na seção anterior. Além da escolha da origem (vegetal e animal) de cada tecido, foi estabelecido que esses deveriam ser 100% naturais. Ademais, todas as tipologias têxteis possuem a técnica construtiva chamada de tafetá, ou ligamento simples, no qual há a passagem alternada de um fio de urdidura (ou urdume) por cima ou por baixo de um fio de trama, como observável na Figura 4.

**Figura 4** - Esquema representativo do tafetá ou ligamento simples.



O esquema utiliza imagens de microscopia digital (microscópio USB) feitas pela autora.

Fonte: Maria Vitória Freitas, 2025

As amostras foram cortadas em quadrados de 10x10 cm, assegurando uma uniformidade entre os corpos de prova de diferentes materiais. Ao todo foram necessárias 36 amostras, uma vez que são 4 tipologias (algodão, linho, lã e seda), 3 forças diferentes (peso 0, peso 1 e peso 2, lembrando que o peso 0 é referente àquelas amostras que foram submetidas a nenhuma força), e 3 rodadas de experimentos (triplicatas).

**Tabela 3** - Número de amostras de acordo com as variáveis definidas.

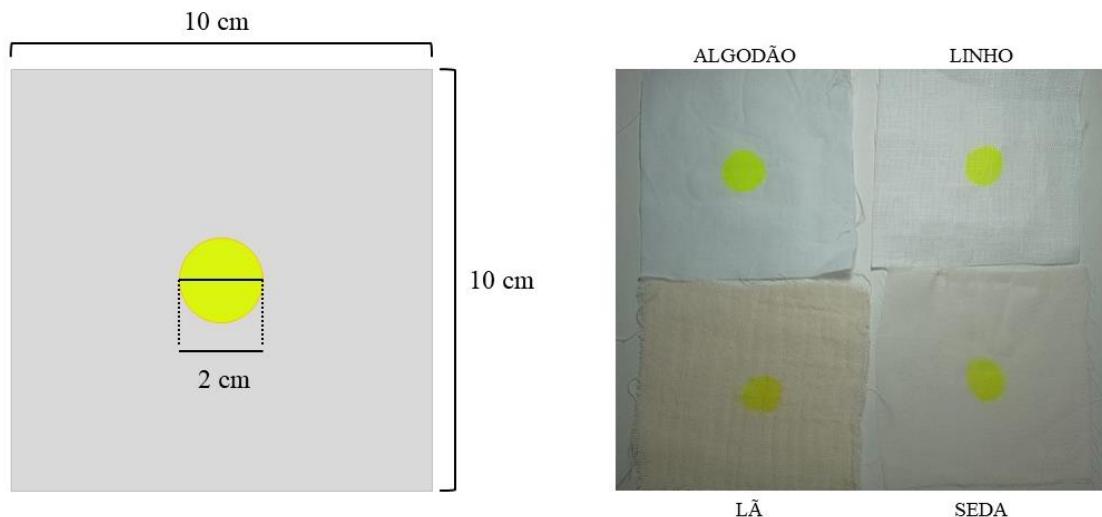
	<b>P0</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>
<b>Algodão</b>	3 rodadas	3 rodadas	3 rodadas
<b>Linho</b>	3 rodadas	3 rodadas	3 rodadas
<b>Lã</b>	3 rodadas	3 rodadas	3 rodadas
<b>Seda</b>	3 rodadas	3 rodadas	3 rodadas

Fonte: Maria Vitória Freitas, 2025

Cada uma das 36 amostras de tecido passou por um processo de lavagem, onde foram deixadas de molho em água morna por 48 horas e então enxaguadas, para remover possíveis componentes residuais provenientes do processamento têxtil. Após a secagem, os cortes de tecidos foram marcados em seu centro com uma tinta visível sob luz ultravioleta e hidrossolúvel, formando manchas de aproximadamente 2 cm de diâmetro (Figura 5). As amostras ficaram guardadas por 5 meses em um recipiente onde não havia ação direta de luminosidade e umidade.

A tinta para as manchas foi adquirida como tinta recarga para marcador tipo marca-texto, entretanto a sua composição não está especificada na embalagem. Após testes realizados previamente, constatou-se que a substância é solúvel em água, o que é de extrema relevância para o experimento, visto que a mancha precisa ser solubilizada pela água veiculada pelo hidrogel para haver a absorção da substância pelo mesmo. Além da hidrossolubilidade, outra característica desta tinta importante para os ensaios do trabalho é a visibilidade sob iluminação ultravioleta, o que torna possível observar os resquícios desta nas amostras mesmo após a remoção com o gel de agarose.

**Figura 5** - Demonstrativo das manchas nas amostras.



Fonte: Maria Vitória Freitas, 2025

Para a aplicação da pressão nos sistemas de peso 1 e peso 2, foram utilizadas 8 placas de vidro de 3mm com 15x15 cm, cada uma pesando aproximadamente 168,75 g. Para os experimentos de P1 (peso 1), cada uma das tipologias dos sistemas mata-borrão, amostra e gel recebe uma plaqueta sobre todos os elementos, exercendo uma força de 1,65 N (Newtons) e uma pressão de 165 Pa (Pascal), sobre a amostra de 10x10 cm. Já nos sistemas de P2 (peso 2), as 4 disposições de mata-borrão, amostra e gel são submetidas à uma força de 3,3 N (Newtons) e 330 Pa (Pascal) consequentes da sobreposição de duas plaquetas em cada tipologia de sistema, totalizando o uso das 8 placas de vidro. Para a determinação desses resultados de força e pressão, foram feitos os cálculos utilizando os dados de medida e peso das placas empregados às seguintes fórmulas (Equações 1 e 2):

$$F = m \cdot g \quad (\text{Eq. 1})$$

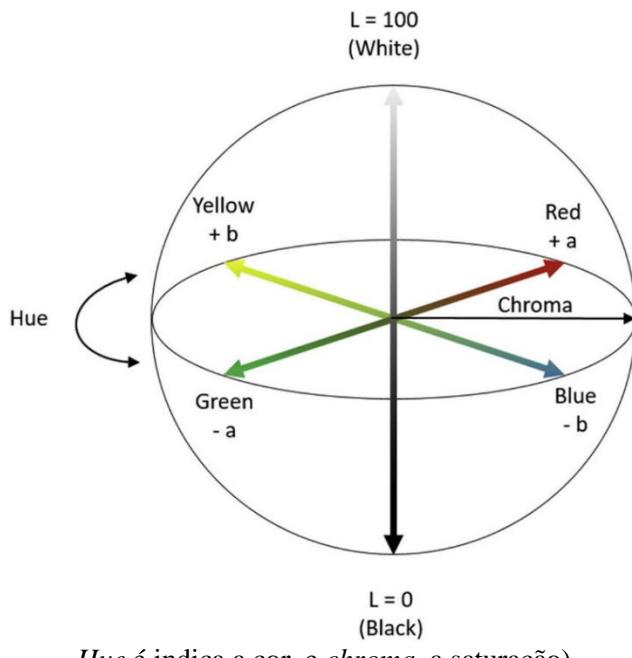
$$P = F/A. \quad (\text{Eq. 2})$$

Na primeira equação,  $F$  é a força em Newtons (N),  $m$  é a massa em quilogramas (kg), e  $g$  é a aceleração da gravidade ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ). Já na segunda fórmula  $P$  se refere à pressão em Pascal (Pa),  $F$  à força em Newtons (N), e  $A$  à área em  $\text{m}^2$ .

Utilizou-se um colorímetro portátil (ColorMeter®) para a mensuração da saturação da cor da mancha de cada uma das amostras antes e depois do processo de higienização com o gel de agarose. Este instrumento é capaz de determinar um número para a cor medida (...)

(...) tomando-se como base o sistema de espaço de cor CIELab, definido pela *Commission Internationale de L'Eclairage*, o qual apresenta três eixos espaciais perpendiculares entre si, cujos pontos fornecem diferenças numéricas mais uniformes em relação às diferenças visuais. O eixo  $L^*$  representa a luminosidade e varia de 0 (preto) a 100 (branco); o eixo  $a^*$  representa uma variação entre o vermelho e o verde; o eixo  $b^*$  representa uma variação entre o amarelo e o azul. (SILVA *et al.*, 2015)

**Figura 6** - Representação do espaço CIELab.

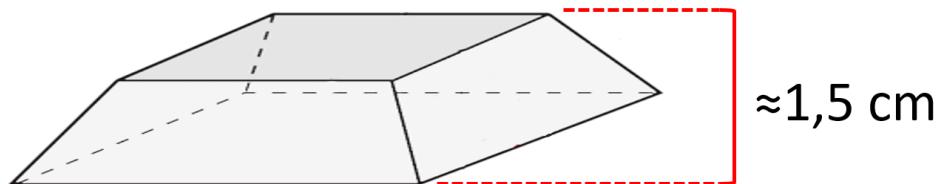


Fonte: Ly et al. (2020)

Sobre a agarose, esta é comercializada em pó, então, foi adquirido um frasco de 100g da substância da marca Kasvi-®, referência em produtos laboratoriais no Brasil. Determinou-se que a concentração do gel a ser utilizada neste Trabalho de Conclusão de Curso seria de 4% (m/v), pois nesta proporção, a substância adquire rigidez suficiente para manipulação, alta resistência à aplicação de força pelas plaquetas de vidro e uma elasticidade moderada, permitindo um contato uniforme com a superfície do tecido. Para o resfriamento do gel após hidratação e aquecimento, utilizou-se uma fôrma de silicone com quatro reentrâncias, o que possibilitou o preparo simultâneo dos quatro blocos de gel de cada rodada de experimentos, mantendo o princípio de unanimidade entre os sistemas gel e tipologias de tecido. Cada um dos blocos tem 5x5cm com uma espessura de 1,5cm, aproximadamente. A espessura dos géis foi definida a partir de uma marca existente nas reentrâncias do molde, assim, o gel ainda quente e

liquefeito foi despejado na fôrma somente até esta marca, o que conferiu aos blocos um formato consideravelmente uniforme e reproduzível de pirâmide truncada, como indicado na Figura 7.

**Figura 7** - Esquema do formato aproximado do hidrogel de agarose após resfriamento.



Fonte: Maria Vitória Freitas, 2025

Foi produzida uma caixa com base de material plástico e laterais de foam-board fixadas com fita adesiva para a criação de um sistema com temperatura e umidade controladas. A caixa possui 50x38cm e as placas de foam possuem 7,5 cm de altura, comportando perfeitamente as 4 amostras em experimento por rodada. Além disso, foram colocados na caixa durante os experimentos quatro recipientes contendo, cada um, 40 ml de glicerol à 80% (m/m) em água – esta mistura foi preparada previamente (Figura 8) para corresponder a uma umidade relativa de equilíbrio média de 50% em um sistema hermeticamente fechado (CAMARGOS et al., 2022) -, visto que esta substância é higroscópica e previne flutuações bruscas na umidade relativa do sistema, e um termohigrômetro digital portátil, para conferência dos índices de temperatura e umidade relativa do ar. Durante cada rodada de experimentos, a caixa foi coberta com filme de poliéster e foram utilizados pesos para selar o sistema da melhor forma possível. A variação de temperatura definida para a execução dos experimentos foi de 25°C a 30°C, e a da porcentagem de umidade relativa foi entre 50% e 70%.

**Figura 8 -** Preparo mistura de glicerina e água deionizada.



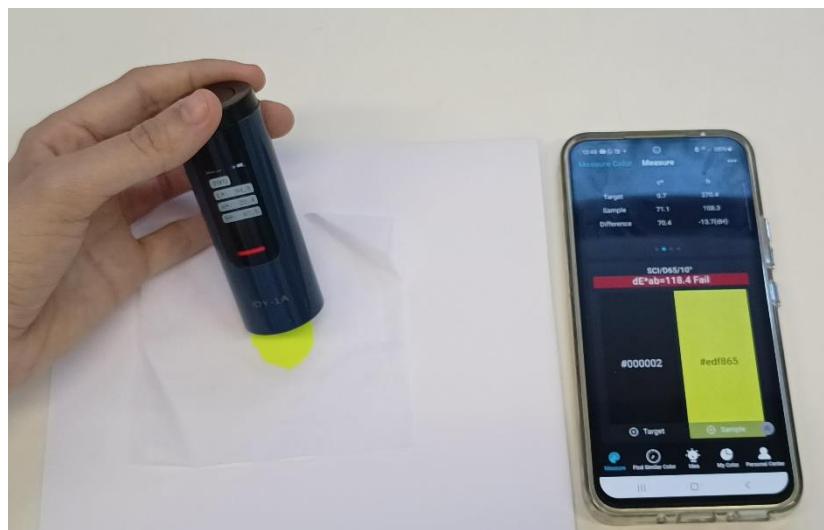
Fonte: Maria Vitória Freitas

## II.2. Cronograma e roteiro dos experimentos

Este Trabalho de Conclusão de Curso teve início no primeiro semestre de 2024. Dessa maneira, em março de 2024 iniciou-se a aquisição de materiais, sendo comprados então os tecidos, a tinta para marcação de amostras e o frasco de agarose em pó. Em abril foi definido o tamanho das amostras e estas foram cortadas e lavadas, e, em maio, foram feitas as manchas, todas entre os dias 12 e 13. Devido a questões de alteração no calendário da Universidade Federal de Minas Gerais, decidiu-se entre orientanda (Maria Vitória Freitas) e orientadoras (Dra. Amanda Cordeiro e Dra. Camilla Camargos), que as amostras seriam reservadas em um local sem influência direta de umidade e radiação ultravioleta, para evitar deterioração inadequada das manchas, e os experimentos se iniciaram no semestre seguinte (2024/2).

Todas as rodadas dos experimentos foram realizadas entre outubro e novembro de 2024, e a análise dos resultados foi feita no início de dezembro do mesmo ano, assim como a análise das tipologias têxteis com microscopia USB. Cada rodada foi realizada em um dia, ou seja, a rodada 1 (P0, P1 e P2) foi feita no dia 29 de outubro de 2024, a rodada 2 (P0, P1 e P2) no dia 05 de novembro, e a rodada 3 (P0, P1 e P2), no dia 12 de novembro do mesmo ano. De maneira prévia ao início de cada rodada de experimentos, foi feita a análise colorimétrica das manchas de cada amostra de tecido (Figura 9) para obtenção de dados comparativos.

**Figura 9 -** Análise colorimétrica prévia aos experimentos de limpeza.



Fonte: Maria Vitória Freitas via ColorMeter®, 2025

O roteiro das análises experimentais tem início no preparo do hidrogel de agarose. Para isso, foram utilizados 3,2g de agarose em pó para cada 60ml de água deionizada, chegando em um gel com 4% (m/v) de concentração – esta mesma proporção foi medida e utilizada em cada uma das sessões com diferentes pesos, ou seja, o processo de preparo do gel foi realizado 36 vezes, e foram usadas no total 115,2g de agarose em pó.

Após a pesagem, hidrata-se então o pó, e leva-se a mistura ao micro-ondas para realizar o aquecimento. O aparelho, tem uma tensão de 127V, foi operado em sua capacidade máxima, dessa maneira, a mistura é aquecida por aproximadamente 1 minuto e 30 segundos, havendo um intervalo de 5 em 5 segundos, para a agitação da substância com um bastão de vidro. O sistema, inicialmente opaco, em seu ponto ideal de aquecimento deve apresentar transparência, fluidez, e uma temperatura de cerca de 75 °C (Figura 10).

**Figura 10** - Medição da temperatura do gel após aquecimento.



Fonte: Maria Vitória Freitas

Após o aquecimento verte-se o gel fluido no recipiente para resfriamento. O processo de gelificação completo ocorre após o arrefecimento da substância, o que dura em torno de 10 minutos. Durante o resfriamento do hidrogel, dispõe-se os quatro quadrados de mata-borrão, então as amostras, o termohigrômetro, e também os recipientes com glicerina. Após passarem os 10 minutos, posiciona-se os géis já firmes sobre as amostras de tecido, abre-se os frascos com glicerina, fecha-se o sistema cobrindo-o com filme de poliéster, e são organizados os pesos sobre o filme para que não haja troca de temperatura ou umidade com o exterior (Figura 11). O tempo de duração da ação do gel em contato com as amostras foi definido para 30 minutos, depois, há a remoção destes, e aguarda-se aproximadamente 15 minutos para a secagem dos tecidos e dos pedaços de mata-borrão. Os géis são reservados para as análises sob luz ultravioleta, que são realizadas no mesmo dia, e então são descartados.

**Figura 11** - Disposição do sistema após vedação com filme de poliéster e pesos.

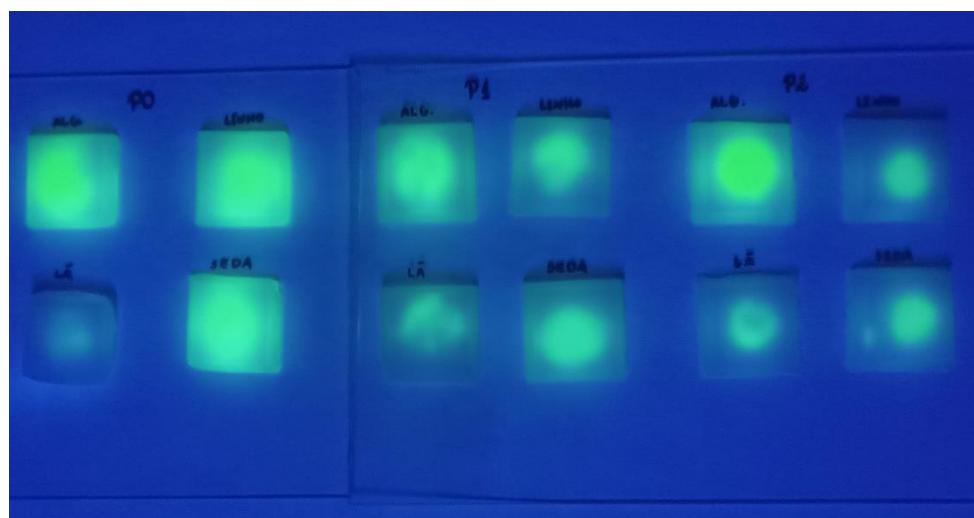


A letra “P” indica o número de pesos, e a letra “R” indica a rodada dos experimentos.

Fonte: Maria Vitória Freitas

Havendo realizado os processos experimentais, posteriormente à secagem das amostras de tecido e mata-borrão, examina-se as manchas nos tecidos e as manchas de tinta migradas para os mata-borrão utilizando o colorímetro e análise visual. Além disso, após cada rodada há a observação dos géis sob luz ultravioleta, como citado anteriormente, para verificação da quantidade de tinta absorvida pelo gel de agarose (Figura 12). Ao fim de todas as rodadas de experimentos, analisou-se todas as amostras de tecido e mata-borrão de acordo com parâmetros de efetividade de limpeza da mancha, migração de cor para as amostras de mata-borrão, dispersão da mancha e absorção de cor pelo hidrogel de agarose – mais à frente no texto haverá uma tabela explicitando o resultado desta análise juntamente à descrição dos parâmetros utilizados.

**Figura 12** - Exemplo de análise dos géis sob luz ultravioleta.



Fonte: Maria Vitória Freitas, 2025

### **III. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

Para haver a discussão dos resultados das análises experimentais deste TCC, é importante introduzir as características físico-químicas de cada tipologia têxtil utilizada nas amostras, uma vez que estes aspectos têm influência direta nos resultados obtidos.

#### **III.1. Características e composição das fibras têxteis**

Dessa maneira, retomando o que foi dito anteriormente, nos experimentos deste trabalho foram utilizadas 4 tipologias de tecidos para as amostras. Os tecidos de origem celulósica (algodão e linho) apresentam uma coloração muito aproximada ao branco, tendo provavelmente passado por processos de beneficiamento têxtil (branqueamento). Já lã e a seda, apresentam uma coloração bastante amarelada. Adicionalmente, a trama do tecido da lã era consideravelmente mais aberta que os demais.

A respeito das fibras componentes dos tecidos utilizados nas amostras, estas são polímeros naturais. Cada desses polímeros tem suas cadeias moleculares organizadas de maneiras diferentes, assim, "as áreas alinhadas das cadeias são chamadas de 'cristalinas', enquanto as regiões desordenadas são 'amorfos'" (BERG *et al*, 2000, p. 2, tradução nossa).

As áreas cristalinas são rígidas - o movimento entre as cadeias de polímeros individuais dentro da área cristalina é restrito porque elas são limitadas no espaço. As áreas amorfas têm uma estrutura mais aberta que permite mais movimento e é nessas áreas que a fibra absorve a umidade e onde ocorrem as primeiras reações com substâncias externas. (BERG *et al*, 2000, p. 2, tradução nossa)

O algodão e o linho são constituídos majoritariamente por celulose, um polímero composto por unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas  $\beta$ -1,4. Essas ligações originam cadeias lineares que apresentam grupos hidroxila (-OH), capazes de formar ligações de hidrogênio intra e intermoleculares, conferindo rigidez e resistência às fibras. Dessa maneira, tanto o algodão quanto o linho apresentam alta hidrofilicidade, mas, devido à sua estrutura interna mais compacta e cristalina (até 90% de cristalinidade) o linho possui uma capacidade de absorção de água ligeiramente inferior à do algodão.

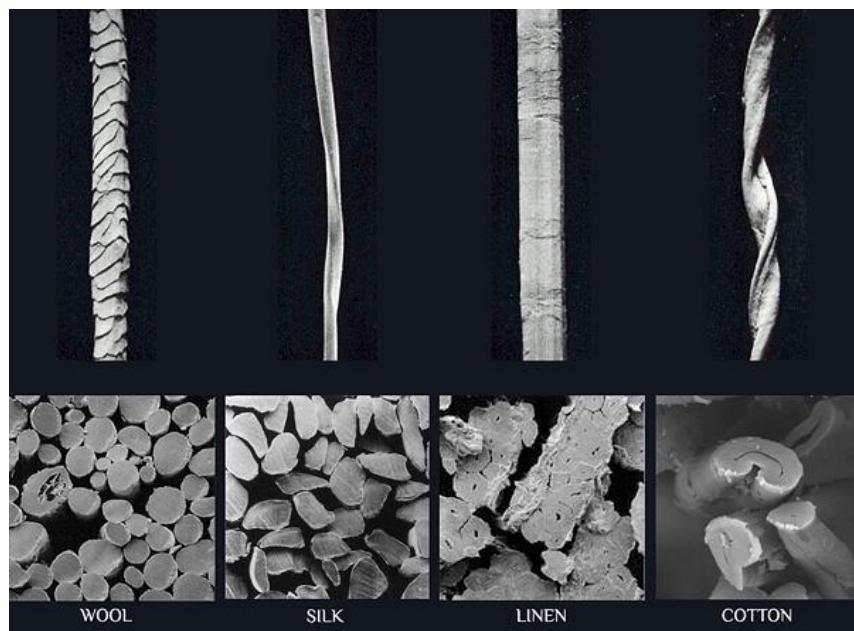
A lã e a seda são compostas principalmente por proteínas estruturais: a queratina na lã e a fibroína na seda. Essas proteínas são constituídas por longas cadeias de aminoácidos conectadas por ligações peptídicas, que formam estruturas secundárias como as  $\alpha$ -hélices (na lã) e as folhas- $\beta$  (na seda). As  $\alpha$ -hélices são estabilizadas por ligações de hidrogênio e conferem

à lã elasticidade e flexibilidade às fibras. Já as folhas- $\beta$  nas fibras de seda, oferecem uma estrutura plana altamente ordenada, que proporciona força, rigidez e brilho.

Em relação às capacidades higroscópicas, a lã em sua composição possui grupos amida (-CONH-), que possibilitam a interação com moléculas de água por meio de ligações de hidrogênio. Embora os grupos amida permitam a absorção de água, essa interação não é tão intensa quanto no caso das fibras de celulose (como algodão e linho), que possuem muitos grupos hidroxila (-OH), altamente hidrofílicos. Além disso, no caso da lã as escamas presentes na estrutura da fibra facilitam a retenção de partículas de sujidade (Figura 13). Por possuir uma estrutura organizada em folhas  $\beta$ , a seda é menos propensa a absorver grandes quantidades de água, embora ainda retenha certa umidade. Além disso, a seda possui uma superfície lisa e menos porosa, o que dificulta a aderência de sujidade, mas a torna vulnerável a manchas causadas por substâncias químicas.

A morfologia microscópica das fibras têxteis analisadas neste trabalho pode ser visualizada por meio das imagens de microscopia eletrônica de varredura mostradas na Figura 13.

**Figura 13** - Imagens de microscopia eletrônica de varredura das fibras têxteis estudadas.



As imagens indicam as fibras de lã, seda, linho e algodão, respectivamente.

Fonte: *Center for Virtual/Material Studies*, Universidade do Estado da Pensilvânia, 2022;

### **III.2. Categorização dos resultados**

A obtenção de resultados foi classificada a partir de: limpeza da mancha, dispersão da mancha, migração de cor para o mata-borrão e absorção da mancha pelo gel de agarose. Em relação à limpeza da mancha, foi feita análise visual e análises prévias e posteriores aos experimentos utilizando o colorímetro (medidas de parâmetros colorimétricos). Já a dispersão da mancha, migração de cor para o mata-borrão e absorção da mancha pelo gel de agarose foram analisadas somente visualmente, utilizando luz visível e ultravioleta.

Como referência para a avaliação da dispersão usou-se o tamanho inicial da área colorida nas amostras, no caso da migração e da absorção, observou-se a quantidade de cor presente no mata-borrão e nos géis, e em relação à apuração à olho nu da limpeza, considerou-se a saturação da mancha. As análises à olho nu e com utilização do colorímetro serão discutidas a partir do estudo de duas tabelas elaboradas pela discente autora deste texto.

Assim, a tabela referente aos valores colorimétricos de limpeza da mancha apresentará os números médios médios  $L^*$  (luminosidade: 0 = escuro, 100 = claro),  $a^*$  (variação do verde ao vermelho: - verde, + vermelho) e  $b^*$  (variação do azul ao amarelo: - azul, + amarelo) inicial e final das três rodadas referentes à cada tipologia com cada peso, além de conter o valor de  $\Delta E$ , isto é, a diferença de cor, que se refere ao cálculo que quantifica a distância entre duas cores no espaço CIELab (o detalhamento sobre o modelo de representação de cor CIELab se encontra no tópico III.1 da dissertação). Esta equação apresenta-se da seguinte forma:

$$\Delta E = \sqrt{(L_1 - L_2)^2 + (a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2} \quad (\text{Eq. 3})$$

$L_1$ ,  $a_1$ , e  $b_1$ , indicam os números de luminosidade, variação vermelho-verde e variação amarelo-azul da cor 1, e  $L_2$ ,  $a_2$ , e  $b_2$ , da cor 2. As cores 1 e 2 serão indicativas dos valores iniciais e alterados, ou seja, antes e depois de sofrerem os experimentos. Além desta tabela, os indicativos de  $\Delta E$  também serão representados através de um gráfico.

As tabelas de classificação de efetividade de limpeza, dispersão da mancha, migração de cor para o mata-borrão e absorção da mancha pelo gel de agarose com base nas análises a olho nu, consiste no uso de parâmetros representados pelos símbolos de ++, +, +- e -, que indicam uma escala de intensidade para cada uma dessas categorias. Nestas tabelas haverão as marcas de intensidade das categorias para cada uma das rodadas por peso e tipologias, resultando em quatro tabelas com 36 resultados cada uma.

### III.3. Resultados obtidos

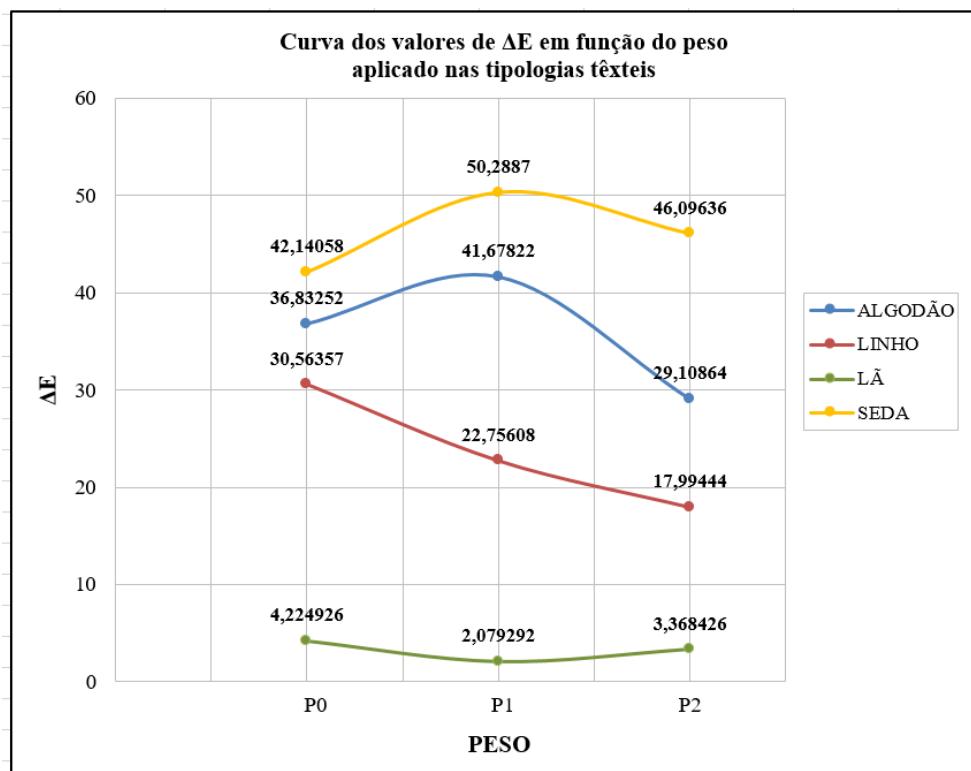
Inicialmente será analisada a limpeza da mancha com base nos valores colorimétricos para cada peso (Tabela 4 e figura 14), e então as demais categorias serão discutidas. Para a obtenção dos números apresentados abaixo, foram feitas médias aritméticas entre três medidas colorimétricas para as manchas de cada tipologia e peso, levando em consideração as amostras antes e depois de passarem pelo experimento. Dessa maneira, número total de resultados adquiridos inicialmente é de 12 valores de L\*, a\* e b\* para cada peso (ou seja, 3 números de L\*, a\* e b\* para cada tipologia de tecido) tanto na categoria “inicial”, quanto na categoria “alterada”. As médias aritméticas foram calculadas para facilitar o entendimento da tabela pelo leitor, assim como a repetição da medição colorimétrica por tipologia e peso foi realizada a partir da necessidade de garantir a solidez e a validade dos resultados dos experimentos.

**Tabela 4 - Valores colorimétricos para as amostras.**

<b>P0</b>	<b>INICIAL</b>			<b>ALTERADA</b>			<b>ΔE</b>
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	
<b>Algodão</b>	95,91111	-20,9889	69,53333	94,52222	-11,9444	33,85556	36,83252
<b>Linho</b>	96,03333	-18,1556	65,61111	95,31111	-10,9778	35,91111	30,56357
<b>Lã</b>	85,86667	-10,7444	61,23333	84,8	-10,0778	57,2	4,224926
<b>Seda</b>	92,13333	-12,6444	61,16667	91,45556	-3,51111	20,03333	42,14058
<b>P1</b>	<b>INICIAL</b>			<b>ALTERADA</b>			<b>ΔE</b>
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	
<b>Algodão</b>	96,26667	-21,7333	72,13333	96,04444	-14,4333	31,1	41,67822
<b>Linho</b>	96,53333	-18,1111	63,47778	96,48889	-12,7778	41,35556	22,75608
<b>Lã</b>	86,47778	-10,5778	59,61111	87,21111	-11,0444	57,72222	2,079292
<b>Seda</b>	91,84444	-13,2	61,87778	91,4	-0,07778	13,33333	50,2887
<b>P2</b>	<b>INICIAL</b>			<b>ALTERADA</b>			<b>ΔE</b>
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	
<b>Algodão</b>	95,95556	-21,7667	70,74444	95,71111	-14,1333	42,65556	29,10864
<b>Linho</b>	95,8	-17,8778	63,25556	95,83333	-11,0667	46,6	17,99444
<b>Lã</b>	85,68889	-9,51111	58,05556	86,57778	-10,1333	61,24444	3,368426
<b>Seda</b>	92,04444	-12,7	58,03333	91,45556	-0,24444	13,65556	46,09636

Fonte: Maria Vitória Freitas, 2025

**Figura 14** - Gráfico dos resultados de  $\Delta E$  por peso aplicado em cada tipologia têxtil.



Fonte: Maria Vitória Freitas, 2025

Para interpretar tanto o gráfico quanto a tabela, é imprescindível o entendimento que quanto maior o número do  $\Delta E$ , maior a distância entre as duas cores de mancha (inicial e final) no espaço CIELab, dessa forma, também é maior a efetividade da limpeza.

Assim, ao observar ambas representações, torna-se visível que o resultado da aplicação do P1 nas amostras de algodão foi satisfatório em relação a não aplicação de peso (P0). Entretanto, ao ser submetida ao P2, esta tipologia apresentou resultados inferiores aos de P1. Uma possível justificativa para a eficiência do P1 em relação ao P0 no algodão, é que a pressão intermediária (P1), pode ter sido suficiente para a penetração adequada de água a partir do hidrogel, permitindo uma área de contato ideal entre gel e têxtil.

No algodão, a força da pressão do peso 2 pode ter entrado em conflito com a força de absorção do mata-borrão, impossibilitando a movimentação apropriada da tinta para o hidrogel. Já no linho, como dito no tópico “IV.1. Características e composição das fibras têxteis”, as cadeias poliméricas possuem mais espaços cristalinos do que no algodão, ou seja, menos áreas amorfas. Dessa maneira, a submissão das amostras de linho tanto ao P1, quanto ao P2, pode ter causado uma compactação nas fibras, ocasionando uma redução destes espaços amorfos, e consequentemente, diminuindo a capacidade de absorção de água, uma vez que a retenção de

água na fibra ocorre nestes espaços. Conclui-se assim, que a não utilização de pressão (P0) neste experimento apresentou mais efetividade de limpeza no linho.

Em relação à lã, a aplicação do P1, tanto em comparação ao P0, quanto ao P2, apresentou um resultado insatisfatório. Uma possível explicação para isto, é o fato desta tipologia têxtil ter em sua composição baseada em queratina, uma proteína que se estrutura em uma morfologia escamosa, além da ação de forças contrárias entre o hidrogel e o mata-borrão no sistema. Como citado anteriormente, essas escamas dificultam a absorção uniforme da solução de limpeza ou do agente aplicado, o que pode impactar a dispersão e a remoção de resíduos, o que também explica a grande disparidade de valores do  $\Delta E$  entre a lã e as demais tipologias têxteis.

Por outro lado, o aumento do  $\Delta E$  na lã sob o P2, gerou uma força maior sobre as fibras, o que pode ter ocasionado na quebra das forças intermoleculares que retém a sujidade, permitindo que substância colorida seja mais absorvida pelo gel e pelo mata-borrão. Porém, a não aplicação de peso também trouxe resultados maiores que a utilização do P1, o que pode ser justificado pela possível compensação dos efeitos negativos da compactação das fibras através do aumento de pressão, o que pode ter promovido uma força suficiente para o deslocamento das sujidades retidas entre as escamas.

A seda, por sua vez obteve o número do  $\Delta E$  do peso 1 maior que os dois demais pesos, visto que a esta quantidade pressão imposta nas amostras pode ter sido suficiente para aumentar a superfície de contato entre tecido e hidrogel (o que não ocorreu no P0), criando assim um equilíbrio entre a mobilidade do gel e a força exercida, permitindo uma limpeza mais efetiva (neste sentido, a "mobilidade do gel" refere-se à capacidade do hidrogel de agarose de se ajustar, distribuir ou reagir dinamicamente às condições aplicadas, como pressão, gravidade e interação com a superfície do material a ser limpo). Em relação ao P2 na seda, a pressão excessiva pode ter causado uma migração inadequada da tinta, fazendo com que esta tenha permanecido na superfície ou sido redistribuída em vez de ser completamente absorvida.

Para a elaboração da Tabela 5, foram determinados fatores importantes para a análise visual das amostras têxteis, de mata-borrão e dos hidrogéis de agarose, além da classificação de cada um destes com o uso dos símbolos de +, ++, +- e -. Assim, a limpeza da mancha aponta quanto da coloração da mancha foi atenuada ou removida, sendo ++ uma remoção visualmente completa; +, uma boa remoção, ainda havendo resquícios de coloração; +- uma atenuação na cor, ou seja, uma remoção parcial da mancha, e por fim, -, que indica quase nenhuma ou nenhuma remoção. Todas as imagens referentes aos resultados de dispersão e limpeza das manchas nas amostras têxteis, e migração para as amostras de mata-borrão estarão disponíveis no anexo deste texto (Figuras 15-32), separadas por peso e rodada. As figuras indicativas das análises dos géis sob luz ultravioleta não se encontrarão neste trabalho, visto que as imagens não estão visivelmente legíveis devido à sua qualidade.

**Tabela 5** - Resultados das análises visuais.

MANCHA/ LIMPEZA	P0			P1			P2		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
<b>Algodão</b>	+	-	++	+	-	+	+	+-	+
<b>Linho</b>	+	-	-	+-	-	+	++	+	-
<b>Lã</b>	-	-	-	-	-	-	-	+-	-
<b>Seda</b>	+-	+-	+-	+	+	++	++	++	+
MATA-BORRÃO/ MIGRAÇÃO	P0			P1			P2		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
<b>Algodão</b>	-	-	-	+	+	+-	+	+	-
<b>Linho</b>	+-	+-	-	+	+-	+	+	++	+-
<b>Lã</b>	+-	+	+-	+	+	++	+	+	+
<b>Seda</b>	+-	+	+-	+	+	+	+	+	+
MANCHA/ DISPERSÃO	P0			P1			P2		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
<b>Algodão</b>	+	++	+	+	+	+	-	+-	+-
<b>Linho</b>	++	++	++	+	+	+	-	+-	+-
<b>Lã</b>	+-	-	+-	+	-	+-	-	-	-
<b>Seda</b>	++	++	++	-	-	-	-	-	-
HIDROGEL/ ABSORÇÃO	P0			P1			P2		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
<b>Algodão</b>	+	-	+-	+-	+	++	++	+-	+-
<b>Linho</b>	+	-	+-	+-	+-	+	+-	+-	+-
<b>Lã</b>	+-	-	-	+	+	-	+	+-	+-
<b>Seda</b>	++	+	+-	+	++	+-	+	+-	+-

Fonte: Maria Vitória Freitas, 2025

Sobre a migração de coloração para o mata-borrão, ++ indica uma alta migração, havendo uma grande quantidade de manchas de cor com alta saturação no mata-borrão; +, então sugere que há uma quantidade de manchas menor que em ++, e em +-, tanto a saturação quanto o número de manchas diminui. Em -, não há nenhuma mancha. A determinação da dispersão das manchas na amostra têxtil segue uma lógica próxima, onde ++ é relativo à uma alta dispersão, observando-se a área da mancha no tecido após passar pelos experimentos, muito maior que dimensão original. Este espaço de mancha é mais próximo dos 2cm de diâmetro onde há a indicação de -, sendo então +, e +-, indicadores intermediários mais próximos de ++ ou de -.

Na absorção de cor pelo hidrogel de agarose, tem-se o ++ indicando uma grande absorção de cor, com uma mancha bem saturada e brilhante sob a luz ultravioleta. Os símbolos de + e +-, respectivamente, indicam uma boa absorção, havendo uma mancha menos saturada que em ++, e uma mancha pouco saturada e menos visível, e -, apresenta uma mancha pouco ou nada visível (tanto a olho nu, quanto sob luz ultravioleta) no hidrogel.

Tendo isso em vista, o algodão em “mancha/limpeza” não obteve o mesmo resultado da superioridade do P1 em relação ao gráfico, havendo assim uma disparidade entre o gráfico e a tabela, que mostrou uma limpeza mais efetiva em P2, dentre os três pesos. Além dessa diferença, os dados sobre a migração de cor para o mata-borrão, e a absorção pelo hidrogel, também apresentam incongruências quando comparados com o gráfico, uma vez que um nível de limpeza relevante (como apresentada no gráfico pelo P1), deve ser diretamente relacionada à uma boa absorção do gel e/ou uma alta migração de cor para o mata-borrão. A tabela, apesar de indicar uma maior absorção da mancha pelo hidrogel em P1, e uma alta migração de cor para o mata-borrão também em P1, coloca ambos os dados de P2 como intermediários entre P0 e P1, o que não acontece no gráfico, uma vez que este sugere valores medianos de  $\Delta E$  para P0. Já a dispersão da mancha, é mais elevada no P0, sugerindo que a não utilização de pressão incrementa a movimentação da tinta pela matriz do tecido antes de ser absorvida, o que, de modo geral, deve ser evitado em tratamentos de conservação-restauração.

As possíveis justificativas destas incongruências de resultados mostrados no gráfico e na tabela 5 podem embasar-se em um possível erro de classificação da efetividade da limpeza em P1 em relação à tabela, visto que esta determinação de valores é subjetiva e realizada visualmente, podendo ter sido subestimada devido à uniformidade da mancha restante, mesmo após remoção significativa. Pequenas diferenças na concentração da tinta ou na aplicação do hidrogel também podem influenciar tanto o  $\Delta E$  quanto os valores qualitativos da tabela, assim,

uma camada de tinta não uniforme na superfície do têxtil ou heterogênea entre as amostras da mesma tipologia, pode gerar variações nos valores de  $\Delta E$  e nos resultados da tabela (limpeza, migração, dispersão e absorção). A espessura ou homogeneidade do gel aplicado pode afetar diretamente sua capacidade de absorção e remoção da tinta, além disso, o gel aplicado de forma desigual, pode gerar uma superfície de contato irregular, com isso determinadas áreas da mancha e do hidrogel podem apresentar maior contato com a tinta, enquanto outras terão menor interação. Por último, diferenças sutis na força de aplicação, e deslocamentos do gel durante a aplicação também podem ter impacto nos resultados apresentados na tabela 5 e no gráfico. Todas essas possíveis explicações se encaixam ao contexto não só dos resultados para o algodão, mas para todas as demais tipologias.

No linho, o P0 apresenta os melhores valores de limpeza segundo o gráfico de  $\Delta E$ , no entanto, ao analisar a tabela, os dados qualitativos não indicam essa superioridade de forma clara e consistente, sugerindo uma limpeza mais eficiente com o uso do P2. Em relação à migração de cor para o mata-borrão, esta classificação mostra o P2 com resultados mais significativos, enquanto tem-se o P0 com maior índice de dispersão da mancha. Sobre a absorção de coloração por parte do gel, esta foi maior em P1, mas, demonstrando índices páreos com P2. Dessa maneira, a dispersão da tinta pode ter conduzido à uma aparência de maior coloração residual, influenciando em uma classificação mais baixa quanto à eficiência da limpeza no não uso de peso (P0) no linho.

Sobre a lã, no gráfico tem-se P0 como o maior valor de  $\Delta E$ , seguido por P2 e P1, respectivamente, já na tabela os resultados são muito próximos, com o P2 apresentando um pouco mais de efetividade que os demais. Da mesma forma, os dados de migração de cor para o mata-borrão, e absorção pelo hidrogel são semelhantes entre P1 e P2, tendo P0 como abaixo da média, visto que a não aplicação de peso teve influência na absorção da tinta tanto pelo mata-borrão, quanto pelo hidrogel de agarose. Já a dispersão da coloração na amostra têxtil sugeriu um resultado quase idêntico entre P0 e P1, com P2 um pouco inferior à ambos. Os dados de limpeza e dispersão da mancha na lã, são menores que as demais tipologias, visto as características de sua fibra que apresenta escamas - as quais prejudicam a movimentação de sujidade -, e também porque o material utilizado nas amostras apresenta uma coloração consideravelmente mais amarelada que as demais tipologias, o que pode ter afetado a leitura visual e colorimétrica da mancha.

Na seda, os dados de  $\Delta E$  e limpeza da mancha se aproximam mais de uma congruência do que o que foi observado nas outras tipologias. Assim, tem-se um P2 e um P1 com boa eficiência de limpeza, assim como o gráfico, entretanto no gráfico o uso do peso 1 mostra-se mais eficaz. A migração de cor para o mata-borrão é idêntica em ambos P1 e P2, sendo menor em P0. Da mesma forma, no peso 1 e 2, não houve nenhuma dispersão da mancha, de acordo com a tabela, o que pode ser um resultado questionável visto que a coloração do tecido mascara a existência de dispersão de cor. A absorção da tinta pelo hidrogel de agarose foi igual na utilização de P0 e P1, e o peso 2 apresentou uma diminuição neste quesito, mas ainda assim o resultado é próximo aos outros tipos de peso. Mesmo havendo um maior  $\Delta E$  no peso 1, e uma eficácia maior de limpeza pela tabela no P2, os resultados são muito próximos, podendo não ser tão identificável a olho nu a diferença entre as amostras destes grupos.

## CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste Trabalho de Conclusão de Curso, foi possível analisar os comportamentos distintos das amostras de algodão, linho, lã e seda durante a aplicação do hidrogel de agarose associado a diferentes intensidades de pressão ( $P_0 = 0N, 0Pa$ ;  $P_1 = 1,65N, 165Pa$ ;  $P_2 = 3,3N, 330Pa$ ) na limpeza de uma mancha hidrossolúvel. Os resultados obtidos evidenciaram as particularidades estruturais de cada fibra e sua interação com o hidrogel e o mata-borrão no sistema desenvolvido para os experimentos. Além disso, o estudo proporcionou uma introdução aos métodos de limpeza utilizados na conservação de patrimônio têxtil, bem como uma compreensão da composição química e propriedades físico-químicas do hidrogel de agarose.

As limitações das condições experimentais levantaram à necessidade de análises mais aprofundadas e estudos complementares. Por exemplo, as inconsistências observadas em determinados resultados indicam que fatores como a composição e aderência das sujidades, a uniformidade na aplicação do hidrogel, e até mesmo as condições ambientais e métodos analíticos (como a análise visual), podem exercer uma influência significativa na eficácia e nos resultados dos experimentos. Assim, estudos futuros devem considerar estas questões, optando por técnicas de apuração de dados mais precisas, ou seja, menos subjetivas, e procedimentos de preparo mais rigorosos para o hidrogel e para as amostras.

De toda maneira, os resultados obtidos a partir dos experimentos e as informações apresentadas ao longo do texto contribuem significativamente para o avanço no entendimento de métodos não invasivos de limpeza do patrimônio têxtil, ressaltando assim a importância de considerar as especificidades de cada material, proporcionando a consolidação do hidrogel de agarose como uma ferramenta de limpeza adaptável e efetiva, além de também somar na ampliação da bibliografia científica da área.

## REFERÊNCIAS

- BAGLIONI, Piero et al. **Gels for the Conservation of Cultural Heritage**. Department of Chemistry and CSGI, University of Florence, Sesto Fiorentino, 2009. Disponível em: [<https://www.google.com/url?q=https://pubs.acs.org/doi/10.1021/la900961k&sa=D&source=docs&ust=1735931907614649&usg=AOvVaw3me5pAkuqMY4T3MsPe00nv>]. Acesso em: 3 jan. 2025.
- BARAK, Sheweta; KHATKAR, Bhupendar Singh; MUDGIL, Deepak. **Guar gum: processing, properties and food applications: A Review**. Journal of Food Science and Technology, India, 2014.
- BEZÚR, Anikó; BRÜCKLE, Irene; KUSHEL, Dan; WARDA, Jeffrey. **Analysis of Agarose, Carbopol, and Laponite Gel Poultices in Paper Conservation**. Journal of the American Institute for Conservation, 2007, p. 263-279.
- BERG, Saskia van den; BROKERHOF, Agnes W.; BOERSMA, Foekje; TEGELAERS, Judith. **Unravelling Textiles: A Handbook for the Preservation of Textile Collections**. Archetype Publications for the Netherlands Textile Committee, Holanda, 2000.
- BROOKS, Mary; EASTOP, Dinah. **To Clean or Not to Clean The Value of Soils and Creases**. ICOM, Comitê Internacional para Conservação, 11<sup>a</sup> Conferência Trienal. Edinburgh, Escócia, setembro de 1996.
- CAMARGOS, Camilla Henriques Maia de. **Compósitos de Nanocristais e Nanofibrilas de Celulose: Preparação, Caracterização e Potenciais Aplicações em Processos de Restauração de Documentos e Obras de Arte sobre Papel**. Universidade Federal de Minas Gerais, 2016.
- CAMARGOS, Camilla H. M. POGGI, Giovanna. CHELAZZI, David. BAGLIONI, Piero. REZENDE, Camila A. **Strategies to mitigate the synergistic effects of moist-heat aging on TEMPO-oxidized nanocellulose**. Polymer Degradation and Stability, Volume 200, 2022.
- CENTER FOR VIRTUAL/MATERIAL STUDIES (CVMS). **Fabrication: Virtual and Material approaches to Global Textiles**. Disponível em: <https://exhibitions.psu.edu/s/flax/item/4861>. Acesso em: 20 de dezembro de 2024.
- CHAN, Alex. **Use of Agarose Gel in Textile Conservation**. Journal of Textile Conservation, v. 15, n. 2, p. 102-115, 1996.

- COMPTON, Jack; HART, W. J. **Soiling and Soil Retention in Textile Fibers: Cotton Fiber Grease-Free Carbon Black Systems.** Institute of Textile Technology, Charlottesville, Virginia. Estados Unidos da América, 1951.
- EASTOP, Dinah; TÍMÁR-BALAZSY, Ágnes. **Chemical Principles of Textile Conservation.** Nova Iorque, EUA, 2011.
- FIGUEIREDO JUNIOR, João Cura D'Ars de. **Química Aplicada à Conservação e Restauração de Bens Culturais: Uma Introdução.** Belo Horizonte, Editora São Jerônimo, 2012.
- FOSKETT, Sarah; SCHMITT, Emma. **Gelling in Theory and Practice: An Examination of Agarose Gels in Textile Conservation.** Textile Specialty Group Postprints, v. 26, 2016.
- GIBERT, Vera Ligia Pieruccini. **O entorno acadêmico e industrial têxtil no vestir e morar brasileiros.** Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Comunicação e Artes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- GUIMARÃES, Bárbara Maria Gama. **Estudo das Características Físico-químicas de Fibras Têxteis Vegetais de Espécies de Malvaceae.** Universidade de São Paulo; Escola de Artes, Ciências e Humanidades; Programa de Pós-Graduação em Têxtil e Moda, 2014.
- GUMMERSALL, P.; MULLEN, A.; WOOLFORD, K. (Ed.). **Handbook of Hydrocolloids. 2. ed. Cambridge.** Woodhead Publishing, 2009.
- HAMZAVI, Yaser; KHAKSAR-BAGHAN, Niayesh; KOOCHAKZAEI, Alireza. **An overview of gel-based cleaning approaches for art conservation.** Heritage Science, 2024.
- LANDI, Sheila. **Textile Conservator's Manual.** Segunda Edição. Oxford, Inglaterra, 1992.
- LY, Bao; DYER, Ethan; FEIG, Jessica; CHIEN, Anna; BINO, Sandra. **Research Techniques Made Simple: Cutaneous Colorimetry: A Reliable Technique for Objective Skin Color Measurement.** The Journal of Investigative Dermatology, v. 140, p. 3–12.e1, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022202X19333974>. Acesso em: 21 de dezembro de 2024.
- MALLO, W. **Nanotechnology in Textile Conservation: The Role of Nanogels.** Textile Conservation Review, v. 12, p. 33-45, 2014.

- MOREIRA, Ana Vládia Bandeira; et al. **Propriedades mecânicas e reológicas de materiais poliméricos.** UFV, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. 2010. Disponível em: [https://www2.dti.ufv.br/noticia/files/anexos/phpDuHtGx\\_2966.pdf](https://www2.dti.ufv.br/noticia/files/anexos/phpDuHtGx_2966.pdf). Acesso em: 18 jan. 2025.
- ORLOFSKY, Patsy; TRUPIN, Deborah Lee. **The Role of Connoisseurship in Determining the Textile Conservator's Treatment Options.** Journal of the American Institute for Conservation, 1993, p. 109-118.
- PAULA, Teresa Cristina Toledo de. **Tecidos no museu: argumentos para uma história das práticas curatoriais no Brasil.** Anais do Museu Paulista. São Paulo, N. Sér. v.14. n.2. p. 253-298, jul.-dez. 2006.
- REY, María Lopes. **Métodos y Materiales de Limpieza Alternativos al Medio Acuoso en Tratamientos de Conservación y Restauración de Materiales Textiles.** Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Bellas Artes, 2017.
- SILVA, Manoel Antônio Gonçalves et al. **Análise instrumental da cor através de fotografias digitais após clareamento dentário.** Revista ABO Nacional, v. 23, n. 3, p. 138-143, 2015. Disponível em: [http://revodontobvsalud.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-52762015000300013](http://revodontobvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-52762015000300013). Acesso em: 20 dez. 2024.
- SMITH, L. et al. **Polymeric Gels for Art and Textile Restoration: A Study on Various Polymers.** Conservation Science Journal, v. 22, n. 3, p. 198-205, 2002.
- SPERLING, L. H. **Introduction to Physical Polymer Science.** 4. ed. Hoboken: Wiley-Interscience, 2006.
- VICIOSA, Iván Mateo. **Conservación y Restauración de Textiles.** Espanha, Madrid, 2018.
- WOLBERS, Richard. **Cleaning Painted Surfaces: Aqueous Methods.** 1. ed. New York: Butterworth-Heinemann, 1988.
- WOLBERS, Richard et al. **Solvent Gels for the Cleaning of Works of Art: The Residue Question.** Getty Conservation Institute, Los Angeles, 2004.
- ZHOU, X. et al. **Synthesis and Characterization of Polymers and Gels for Textile Conservation.** Journal of Polymer Science, v. 45, n. 3, p. 123-135, 2015.

## ANEXO: IMAGENS DOS RESULTADOS

**Figura 15** - Manchas nas amostras têxteis, P0-R1 (após experimentos).



Fonte: Maria Vitória Freitas, 2025

**Figura 16** - Manchas nas amostras de mata-borrão, P0-R1 (após experimentos).



Fonte: Maria Vitória Freitas, 2025

**Figura 17** - Manchas nas amostras têxteis, P0-R2 (após experimentos).



Fonte: Maria Vitória Freitas, 2025

**Figura 18** - Manchas nas amostras de mata-borrão, P0-R2 (após experimentos).



Fonte: Maria Vitória Freitas, 2025

**Figura 19** - Manchas nas amostras têxteis, P0-R3 (após experimentos).



Fonte: Maria Vitória Freitas, 2025

**Figura 20** - Manchas nas amostras de mata-borrão, P0-R3 (após experimentos).



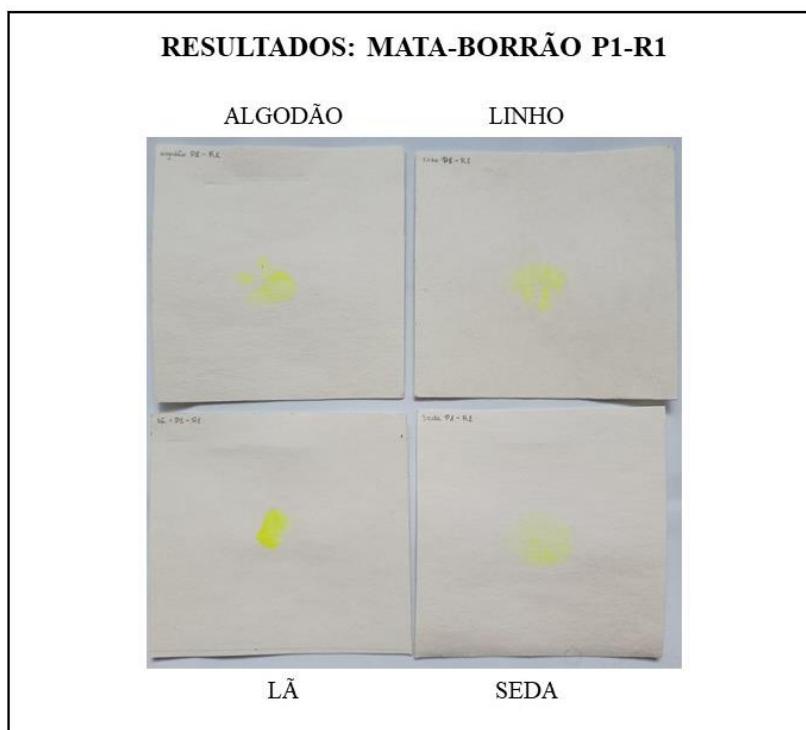
Fonte: Maria Vitória Freitas, 2025

**Figura 21** - Manchas nas amostras têxteis, P1-R1 (após experimentos).



Fonte: Maria Vitória Freitas, 2025

**Figura 22** - Manchas nas amostras de mata-borrão, P1-R1 (após experimentos).



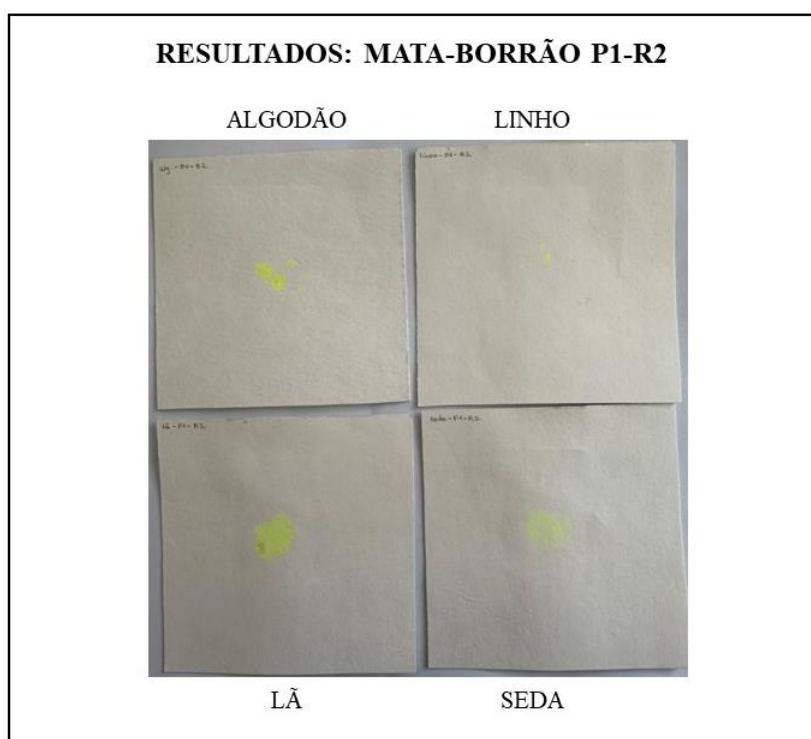
Fonte: Maria Vitória Freitas, 2025

**Figura 23 - Manchas nas amostras têxteis, P1-R2 (após experimentos).**



Fonte: Maria Vitória Freitas, 2025

**Figura 24 - Manchas nas amostras de mata-borrão, P1-R2 (após experimentos).**



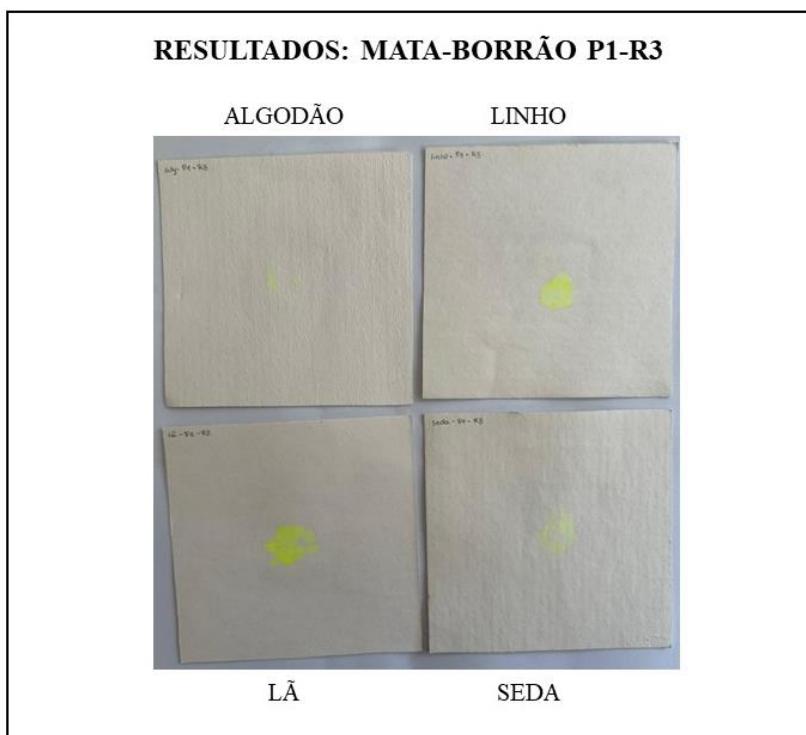
Fonte: Maria Vitória Freitas, 2025

**Figura 25** - Manchas nas amostras têxteis, P1-R3 (após experimentos).



Fonte: Maria Vitória Freitas, 2025

**Figura 26** - Manchas nas amostras de mata-borrão, P1-R3 (após experimentos).



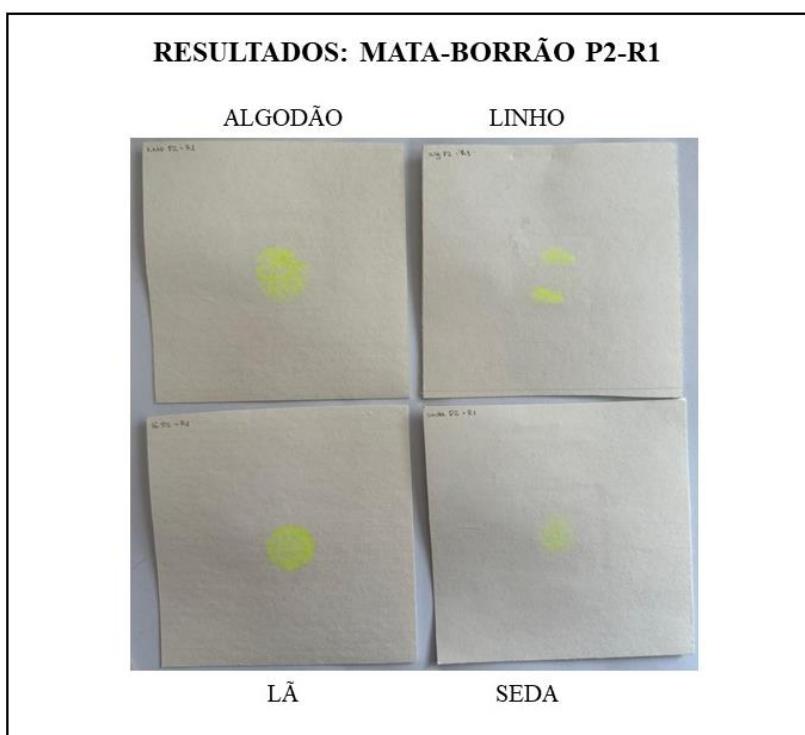
Fonte: Maria Vitória Freitas, 2025

**Figura 27** - Manchas nas amostras têxteis, P2-R1 (após experimentos).



Fonte: Maria Vitória Freitas, 2025

**Figura 28** - Manchas nas amostras de mata-borrão, P2-R1 (após experimentos).



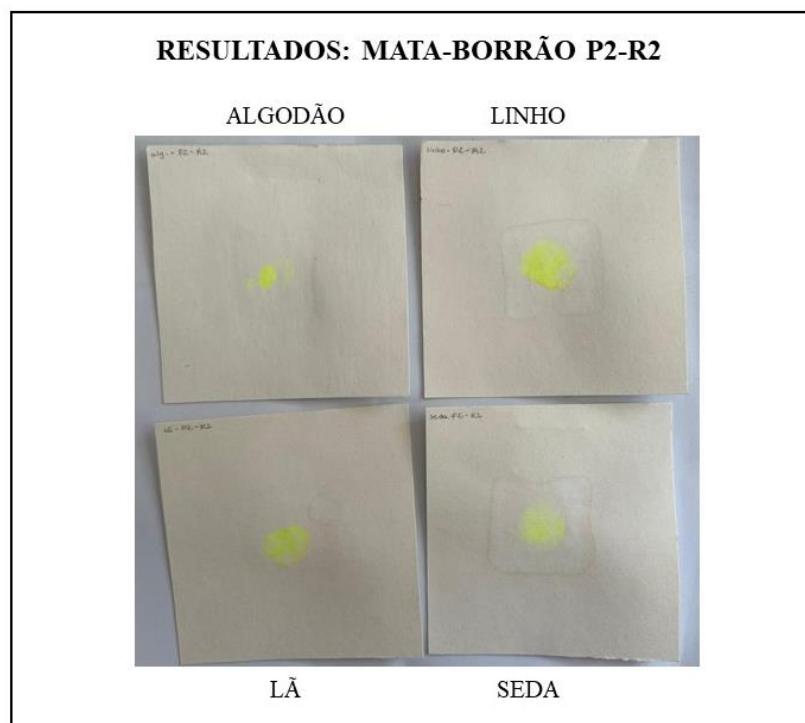
Fonte: Maria Vitória Freitas, 2025

**Figura 29** - Manchas nas amostras têxteis, P2-R2 (após experimentos).



Fonte: Maria Vitória Freitas, 2025

**Figura 30** - Manchas nas amostras de mata-borrão, P2-R2 (após experimentos).



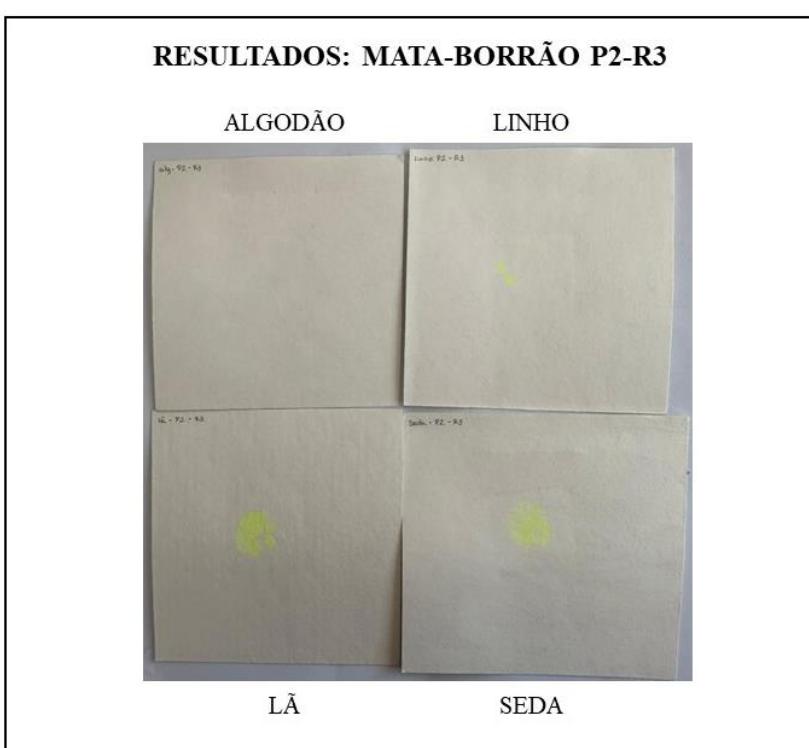
Fonte: Maria Vitória Freitas, 2025

**Figura 31 - Manchas nas amostras têxteis, P2-R3 (após experimentos).**



Fonte: Maria Vitória Freitas, 2025

**Figura 32 - Manchas nas amostras de mata-borrão, P2-R3 (após experimentos).**



Fonte: Maria Vitória Freitas, 2025