

O USO RACIONAL DE ÁGUA NO SETOR TÊXTIL: uma revisão bibliográfica

Sahra Medeiros de Moraes¹
Felipe Mendonça Fontes Galvão²
Dany Geraldo Kramer³

RESUMO

No setor têxtil há o processo de uso de corantes reativos para o tingimento de fibras celulósicas (algodão), havendo uso intensivo de água e NaCl. Assim, gera-se grande volume de efluentes. Neste sentido, justifica-se uma revisão bibliográfica acerca desta temática, envolvendo pesquisa de processos alternativos que possibilitem a redução de uso de água e NaCl neste setor. Tratou-se de uma pesquisa bibliográfica, sendo, para tanto, utilizado os descritores: “corante reativo; sal; tecido de algodão; cor; adsorção; efluente; beneficiamento; processos químicos e têxteis”. 20 textos completos foram selecionados e foram analisados pelas técnicas Diagrama de Zipf; Análise lexical simples; Análise de Similitude e Classificação Hierárquica Descendente. As palavras de maior relevância e frequência foram: corante (62); reativo (43); sal (34); algodão (34); processo (34); água (32); tecido (26) e fibra (20). Esta metodologia permitiu um mapeamento dos estudos acerca do tema, das técnicas alternativas e inovadoras com o mesmo padrão de qualidade, buscando sempre a redução do impacto ambiental e o aprimoramento do processo produtivo.

Palavras Chaves: corante, reativo, sal, algodão, processo.

¹ Mestranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Têxtil - UFRN. E-mail: sahra.medeiros.116@ufrn.edu.br.

² Prof. Me. Departamento de Engenharia Têxtil - UFRN. E-mail: felipefmfg@gmail.com.

³ Prof. Dr. Programa de Pós-graduação em Engenharia Têxtil; Programa de Pós-graduação em Saúde da Família no Nordeste (RENASF) - UFRN. E-mail: dgkcs@yahoo.com.br.



THE RATIONAL USE OF WATER IN THE TEXTILE SECTOR: A Literature Review

ABSTRACT

In the textile sector, reactive dyes are used for dyeing cellulosic fibers (cotton), involving intensive use of water and NaCl, resulting in a high volume of effluents. Therefore, a literature review on this topic is justified, focusing on alternative processes that enable the reduction of water and NaCl usage in this sector. This study is a bibliographic research, using the descriptors: "reactive dye; salt; cotton fabric; color; adsorption; effluent; finishing; chemical and textile processes." A total of 20 full-text articles were selected and analyzed using the following techniques: Zipf's Diagram, Simple Lexical Analysis, Similarity Analysis, and Descending Hierarchical Classification. The most relevant and frequent words were: dye (62); reactive (43); salt (34); cotton (34); process (34); water (32); fabric (26); and fiber (20). This methodology enabled the mapping of studies on the topic, identifying alternative and innovative techniques that maintain the same quality standards, always aiming at reducing environmental impact and improving the production process.

Keywords: dye, reactive, salt, cotton, process.

1 INTRODUÇÃO

A indústria têxtil, dentro do âmbito industrial, é uma das maiores do mundo, sendo fundamental para a economia de muitos países, principalmente China que produz cerca de 421 bilhões de dólares, o Brasil ocupa a décima posição em produção têxtil, produzindo cerca de 12,9 bilhões de dólares no ranking 2018 (Junior; Biagio, 2021).

Apesar de sua relevância econômica e social, este setor demanda um grande consumo de água e energia, além de produtos químicos, conforme explicam Khandaker *et al.* (2022, p. 2): a indústria têxtil é intensiva em água e energia, consumindo uma quantidade colossal de recursos naturais, responsáveis pela poluição da água, escassez de recursos naturais.

A produção têxtil pode ser separada em partes, a produção da matéria prima pode ser sintética, pois gera grande impacto na extração e descarte, ou de fibras naturais, sendo o algodão a mais comum, estima-se que 1 kg de fibra de algodão consome cerca de 4.600 litros de água para o cultivo, o processamento de fiação e tecelagem, também conhecido como processo a seco, tem grande gasto energético, no geral, os resíduos dessa etapa são reinseridos no processo produtivo (Oliveira; Carlos. 2021).

Neste setor produtivo o desafio refere-se à redução no uso da água, buscando-se técnicas mais racionais e redução de efluentes. Um dos procedimentos técnicos em que há consumo de grande quantidade de água e uso de produtos químicos é o processamento úmido, consequentemente, gerando resíduos e efluentes que precisam ser tratados para reutilização da água. Caso ocorra descarte incorreto destes, possibilita em riscos de contaminação ao solo, recursos hídricos e a biodiversidade local (Khan *et al.*, 2023). Os efluentes têxteis contêm corantes, metais pesados, sais inorgânicos, surfactantes, contaminantes orgânicos, óleo e graxa (Khan; Waseem Ullah, 2023).

Os corantes reativos são os mais indicados para o tingimento de fibras celulósicas (algodão) por sua excelente durabilidade fixação e resistência à lavagem, porém o



tecido ou malha de algodão em contato com a água, adquire carga negativa, dificultando a fixação do corante na fibra, para mudar essa carga superficial do tecido, é adicionado NaCl (sal) e Barilla, esta adição otimiza o tingimento, mas contamina o efluente, que precisa ser dessalinizado para descarte ou reuso (Kuhn; Daniele. 2020).

Em vista à relevância da presente temática, “uso de água no setor têxtil”, foi desenvolvida uma avaliação de conteúdo em textos acadêmicos, através da aplicação do software Iramuteq, que possibilita a análise estatística e o processamento de textos (Silva; Sousa, 2018; Souza *et al.*, 2018; Klamt; Santos, 2021), com o objetivo de analisar textos sobre o uso racional de água e redução de NaCl no setor têxtil.

2 INDÚSTRIA TÊXTIL

Mesmo com o avanço científico e tecnológico das metodologias de produção fabril, o setor da indústria têxtil apresentou pouca modificação comparada e seu sistema original de produção, esse avanço é ainda menor em países emergentes. As fibras e filamentos têxteis são materiais poliméricos que servem de base para a composição de malhas, tecidos e TNT (tecido não tecido), podem ser de origem natural, como fibras de origem vegetal ou animal, ou sintéticas, produzidas a partir da indústria petroquímica. Esses materiais são usados para produzir as demandas de uso doméstico como roupas, mantas, toalhas e também artigos técnicos, inteligentes e funcionais (Oliveira; Carlos, 2021).

A produção mundial de fibras têxteis foi de 90.600.000 toneladas no ano de 2015, de acordo com Burkinshaw, as fibras de algodão representaram 31% dessa produção, o poliéster apresentou produção de 58,5%, outras fibras artificiais e sintéticas apresentam cerca de 9,1%, já seda, lã e outras fibras naturais apresentam cerca de apenas 1,4% da produção mundial (Burkinshaw; Salihu, 2019).

Uma das indústrias que mais movimenta a economia, é dividida em três principais etapas ilustradas na figura a seguir, apesar de todas as etapas serem poluentes, a tinturaria destaca-se por produzir um efluente mais difícil de tratar, pois além da carga de sal que possui seu banho, as concentrações a ativos do corante podem mudar a partir da cor desejada, e sua matéria prima (Junior; Biagio, 2021).

Algumas ações são tomadas a fim de minimizar este impacto, a principal delas é reduzir o efluente gerado, com máquinas que apresentam menor proporção de banho. Antes de descarregar resíduos industriais em corpos d'água, as indústrias têxteis devem seguir normas e regulamentos ambientais que variam em cada país. A descarga de corantes em corpos de água afeta sua transparência prejudicando a fotossíntese das plantas, além de gerar alergias ou infecções cutâneas.

(Khan; Waseem Ullah, 2023).

Os tecidos têxteis feitos dessas fibras são superiores em conforto e ecologicamente corretos, de acordo com Aysha, no Brasil o cultivo de algodão existe desde a época colonial, concentrada principalmente no nordeste do país, mas no século dezenove a indústria têxtil teve significativo crescimento para driblar os impostos da importação, as primeiras fábricas de tecelagem se estabeleceram na Bahia, e os polos têxteis se fixaram no centro-sul do país (Aysha *et al.* 2022; Sachett, 2019).

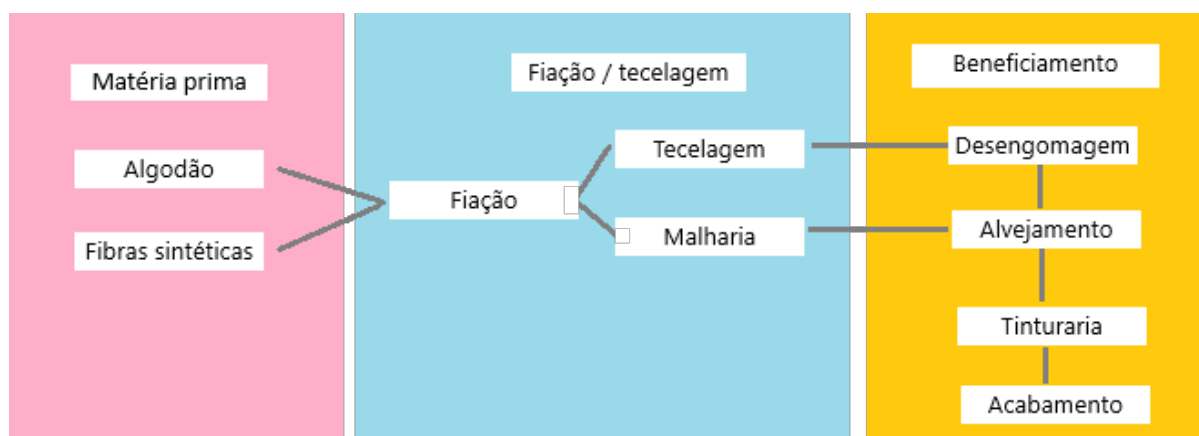
O setor têxtil é um dos que mais gera emprego em nosso país, empregando cerca de 1,479 milhões de empregados diretos, no ano de 2017 foram produzidas cerca de 5,9 bilhões de peças de vestuário, cerca de 1,7 toneladas. Além disso, o Brasil consegue produzir desde matéria prima, beneficiamento, confecção e comércio interno, fortalecendo a economia local (Sachett, 2019).

O tecido de algodão é amplamente usado por sua boa respirabilidade e conforto, é uma

matéria prima usada desde antes do desenvolvimento da indústria sintética. Entretanto, os tecidos e malhas de algodão adquirem carga superficial negativa em contato com a água, isso dificulta a absorção de corantes reativos (que apresentam melhor fixação), pois a carga causa repulsão eletrostática, para reduzir esta repulsão é adicionado um agente eletrólito, que é na maioria das vezes o sal, por ser um agente acessível (Wang; Lei, 2022).

A produção global em 2015, de acordo com Burkinshaw e Salihu (2019), foi de aproximadamente 90,6 milhões de toneladas, as fibras de algodão e as celulósicas artificiais representaram cerca de 31%, enquanto as fibras de poliéster (PES) corresponderam a aproximadamente 58,5%. Já as fibras naturais, como lã e seda, participaram com apenas 1,4%, respectivamente 28,1 ;53,1 milhões de toneladas e 1,2 milhões de toneladas. As demais fibras artificiais e sintéticas corresponderam a cerca de 9,1%, cerca de 8,2 milhões de toneladas. Estima-se que o consumo mundial de corantes neste mesmo ano foi de 1.800.000 toneladas e cerca de 1.200.000 toneladas de auxiliares químicos neste processo (Burkinshaw; Salihu, 2019).

Figura 1 - Fluxo de processos da indústria têxtil



Fonte: autores (2025).

2.2 PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL NA INDÚSTRIA TÊXTIL

A busca acerca da produção sustentável no setor têxtil tem se intensificado diante da preocupação com os impactos ambientais associados à cadeia produtiva desse setor, a elevada geração de resíduos sólidos e líquidos (efluentes), além do consumo de energia, água e produtos químicos de caráter nocivo ao meio ambiente. Trazem urgência na mudança de métodos produtivos que reduzem os danos ecológicos. Dentre as estratégias mais promissoras estão aquelas relacionadas ao processo de tingimento, destacando-se a utilização de pigmentos e corantes naturais no tingimento e estamparia, sejam elas de fontes renováveis ou de menor dano ambiental (Oliveira *et al.*, 2021).

Além disso, existem pesquisas que apontam o nitrilotriacetato trissódico (TNA) como um ativo com múltipla funcionalidade no tingimento com corante reativo, atuando como agente de exaustão e de fixação. Isso é uma alternativa para substituir parcialmente os sais inorgânicos tradicionalmente usados, reduzindo a carga salina presente nos efluentes (Aysha *et al.*, 2022).

No mesmo viés de sustentabilidade, a reutilização de banhos de tingimento é uma das alternativas a serem otimizadas, limitada por manutenção e qualidade da cor. Mesmo com a variação nas proporções de banho residual, a tonalidade final teve parâmetros colorimétricos

prejudicados (Cunha, 2023).

Países com a economia emergente concentram a maior parte da produção têxtil do mundo, mesmo assim, devem se dedicar à produção mais sustentável em todas as etapas do processo, equilibrando a importância econômica com a responsabilidade ecológica. Esta pesquisa vislumbra detalhar os processos têxteis e identificar quais as ações ecoeficientes podem ser implementadas no atual contexto (Oliveira *et al.*, 2021).

2.3 CORANTE REATIVO

Este tipo de corante possui três grupos funcionais: cromóforo, solubilizante e reativo, as primeiras fases adicionam agente alcalinizador e a adição de eletrólitos, através da primeira o corante faz a primeira ligação com a fibra, através da adsorção, e as etapas seguintes garantem o esgotamento do banho e a fixação entre o corante e a fibra. Além da necessidade de tratar o efluente, o sal também causa danos nos maquinários e tubulações, pois favorece a oxidação das estruturas metálicas, gerando maior manutenção e redução da vida útil de muitos equipamentos (Kuhn; Daniele, 2020).

Os corantes podem ser classificados de duas formas, pela sua forma de aplicação: diretos, reativos, azoicos, ácidos, a cuba e dispersos, e pelos grupos cromóforos: nitrofenol, nitrosofenol, azo, trifenilmetano, antraquinona, ftalocianina, vinilsulfônico, pirimidina e triazina.

Nesta pesquisa, o corante estudado será o reativo, estes possuem um grupo eletrofílico que reage com grupos hidroxila das fibras celulósicas, estes corantes possuem a função azo e antraquinona. A fixação acontece a partir da substituição do grupo nucleofílico, sua principal vantagem é a excelente estabilidade de cor, apresentando fixação e solidez à lavagem (Sachett, 2019).

Existem alguns métodos alternativos, que utilizam óleo (Kuhn; Daniele, 2020) e outros auxiliares para tingir sem sal como: (Ghosh; Joyjit, 2023); (Pei; Liujun, 2022) com sulfato de sódio; (Pruš; Stanislaw, 2022), com cloreto de cloro, dentre outras que têm o mesmo objetivo, substituir a função do sal na utilização da cadeia celulósica (modificação catiônica na cadeia de celulose).

2.4 EFLUENTE TÊXTIL

Como citado anteriormente, a indústria têxtil é uma das mais poluentes do mundo, destacando-se o beneficiamento com sua grande produção de efluentes, o resíduo de corantes e a alta concentração de sal impedem a entrada de luz nos meios aquáticos, reduzindo a oxigenação e a biodiversidade (Sachett, 2019).

Com interesse em reduzir o impacto desse efluente, a legislação ambiental está cada vez mais exigente. Este efluente deve ser tratado por coagulação e floculação ou lodo ativado, para atingir os parâmetros exigidos por lei para o descarte na natureza ou reutilização na indústria (Sachett, 2019).

O uso de membranas para destilar esse efluente vem ganhando espaço nas indústrias, estas membranas são feitas a partir de fluoropolímeros (PVDF) (PTFE). Esta destilação acontece a partir da diferença de pressão, apenas os vapores permeiam as membranas e passam da corrente de alimentação (Sachett, 2019).

2.5 MÉTODOS DE DESSALINIZAÇÃO

Além das leis que determinam os níveis máximos de poluentes que podem conter em um efluente a ser descartado, um grande desafio é tratar o sal proveniente do tingimento com corante

reativo. Desta forma, a necessidade do tratamento torna-se mais significativa, para o lançamento de efluentes em corpos hídricos (Martins Naiara, 2016).

O método mais usado são as membranas de troca iônica por sistema de eletrodialise, que é um método mais limpo e eficiente energeticamente. Apesar de muito eficientes, estas membranas não são produzidas no Brasil, isto fomenta a necessidade de um método alternativo de produção com insumos nacionais. Esta limitação no método de dessalinização é apenas uma, das inúmeras barreiras da implantação desse método dentro das indústrias (Martins Naiara, 2016).

3 METODOLOGIA

3.1 DADOS DA PESQUISA E BUSCA TEXTUAL

Este estudo caracteriza-se como uma revisão bibliográfica, realizada com base em textos acadêmicos publicados com o tema “tingimento com corante reativo sem sal”. Para tanto realizou-se busca com os descritores “corante reativo; sal; tecido de algodão; cor; adsorção; efluente; beneficiamento; processos químicos; têxteis”. Estes termos foram combinados para realizar a pesquisa bibliográfica, tanto em português como em inglês. As plataformas acadêmicas foram base de dados, periódicos de universidades, tais como Scielo, Science direct e MDPI. O critério temporal utilizado envolveu materiais de estudo publicados entre 2019 e 2025.

Após o levantamento inicial, 30 textos foram pré-selecionados, sendo posteriormente analisados quanto à correlação com o tema, se não eram apenas resumos simples ou estavam em duplicata. Por fim, foram selecionados 20 artigos, para análise de conteúdo. Os resumos e recortes dos artigos foram traduzidos para o português e compilados em um texto, entrando no padrão para a análise do software Iramuteq.

3.2 ANÁLISE DE DADOS

O software Iramuteq, é gratuito, e faz indicativo da frequência de palavras e a relação entre elas dentro de uma pesquisa. Esta ferramenta gera gráficos, nuvens de palavras, baseando-se nessas conexões. Ademais, possibilita o teste de AFC (Análise Fatorial Correspondente) que faz o cruzamento de palavras, através de um plano cartesiano de quatro quadrantes, e a classificação hierárquica dependente (CDH), também conhecida como método Reinert. As palavras mais frequentes, e sua classe gramatical (substantivos, adjetivos ou advérbios) (Souza *et al.*, 2018; Luz; Débora. 2025).

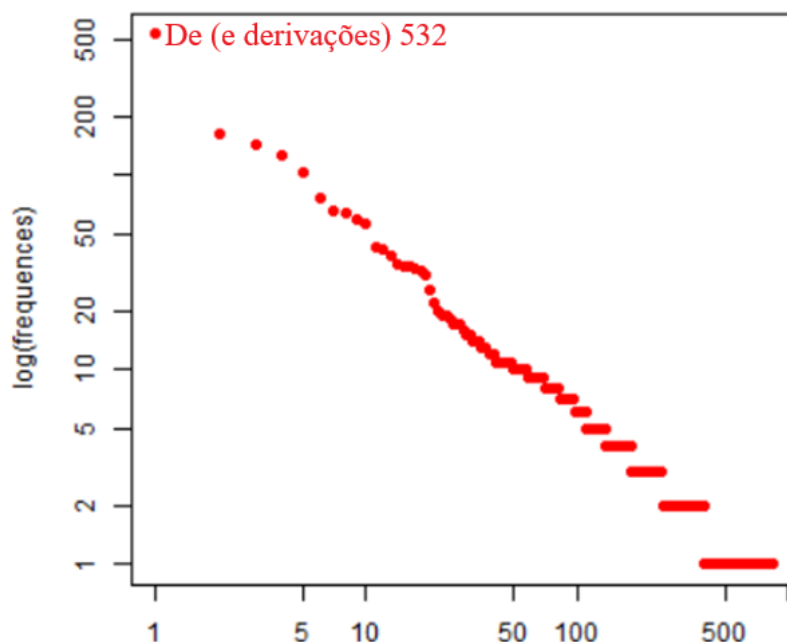
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O primeiro processamento dos 20 artigos analisados obteve 3.876 palavras identificadas. Estas geraram o diagrama de frequência de Zipf. – Figura 2. Nesta, podem ser observadas no eixo Y (frequences), ilustrando o quantitativo em que uma palavra ocorre no texto, junto com suas derivações. Enquanto no eixo X (ranges) ocorre o quantitativo das mesmas (Silva e Sousa, 2018;). Assim, observou-se que poucas palavras ocorreram centenas de vezes – pontos no topo do gráfico próximo ao eixo Y, enquanto muitas outras apareceram nos textos com pouca frequência na base do gráfico, próximo ao eixo X.

O teste de Zipf (Figura 2) demonstra no eixo Y as palavras que mais se repetem. Preposição “de” e suas derivações aparecem 532 vezes, seguida do artigo “a” e suas derivações 163 vezes e o artigo “o” e suas derivações (144 vezes). A preposição “em” aparece 104 vezes. Estas devem ser retiradas da análise para não dificultarem a investigação, sendo utilizadas neste

estudo, as classes de palavras: substantivo e adjetivo. Após a filtragem de artigos, pronomes, preposições e conjunções, gerou-se gráficos mais refinados com o Iramuteq.

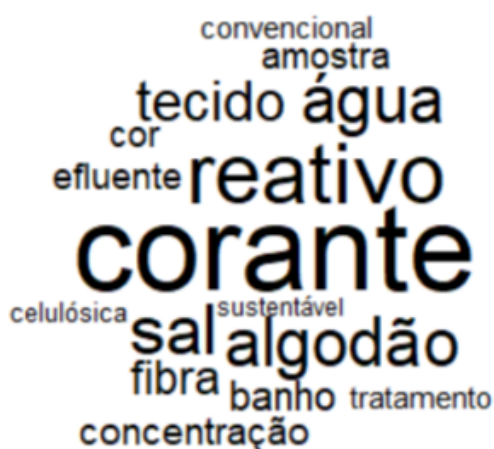
Figura 2 - Diagrama de frequência Zipif para textos analisados



Fonte: autores (2025).

Com base nos filtros gramaticais (adjetivo e substantivo) foi gerada a nuvem de palavras (Figura 3) que utiliza os aspectos visuais para indicar a frequência destas no corpo do texto. Quanto mais recorrente for o termo, maior e mais centralizada a palavra fica na nuvem, indicando destaque (Souza *et al.*, 2018).

Figura 3 - Nuvem de palavras para análise de artigos sobre uso racional de água e redução de NaCl



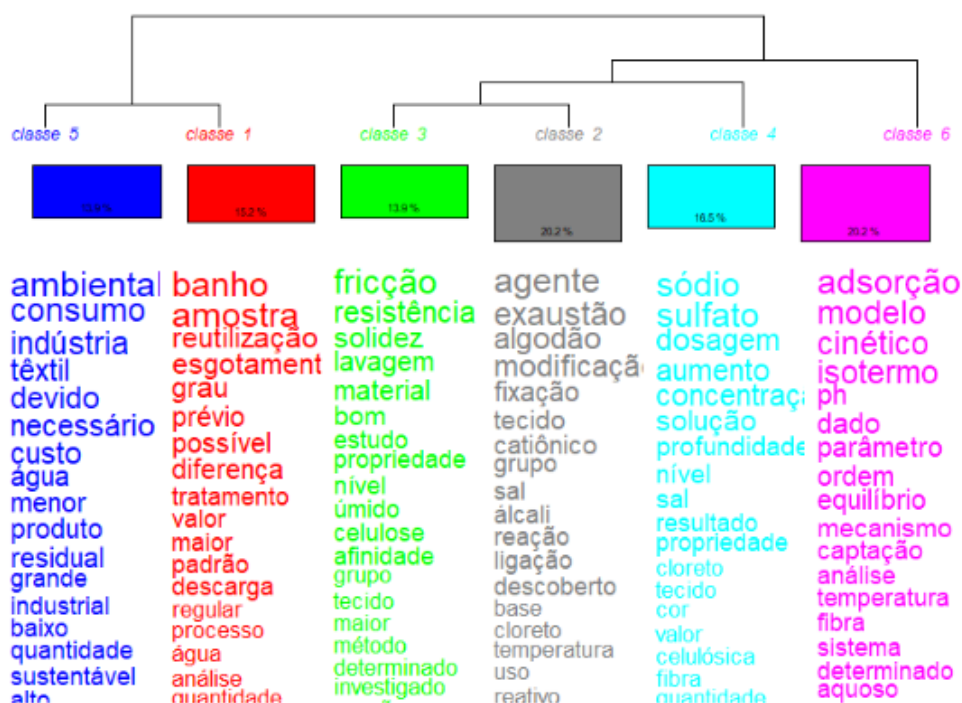
Fonte: autores (2025).

A maior frequência de palavras na estatística descritiva do Iramuteq e mais relevantes no estudo foram: corante (62); reativo (43); sal (34); algodão (34); processo (34); água (32); tecido (26) e fibra (20). O termo mais recorrente “corante”, possibilita observar que os textos selecionados tratam de temas sobre o tingimento com corante reativo, principal foco neste estudo. Tendo em vista que há inúmeros tipos de corantes, cada um com suas qualidades e limitações.

Os termos como “reativo” faz referência a subdivisão da classe de corante, a palavra “sal” faz referência a um dos aditivos usados convencionalmente no tingimento com corante reativo, as palavras “tecido”, “algodão” e “celulósica”, fazem referência à matéria prima do tingimento, pois em outras matérias primas, não é usado o mesmo tipo de corante, a palavra “concentração” faz referência tanto a palavra “banho” quanto à palavra “efluente” e apesar de não estarem próximas dentro da nuvem de palavras, a palavra “tratamento” está diretamente ligada com o termo efluente.

Em seguida, realizou-se com o software a classificação hierárquica pelo sistema de dendrograma, (Figura 4) que pode ser entendida como uma análise de agrupamentos ou segmentos de textos que são separados em grupos.

Figura 4 - Dendrograma de coocorrência de palavras nos textos analisados



Fonte: autores (2025).

Na classe 5, os termos em destaque são: sustentáveis, ambiental, consumo, água, indústria têxtil, residual e industrial, essas palavras fazem referência ao efluente industrial têxtil. Na classe 1 os termos destacados são: banho, reutilização, esgotamento, descarga, tratamento, reutilização e amostra. Essas palavras fazem referência aos métodos de banho usados para reduzir o volume do efluente.

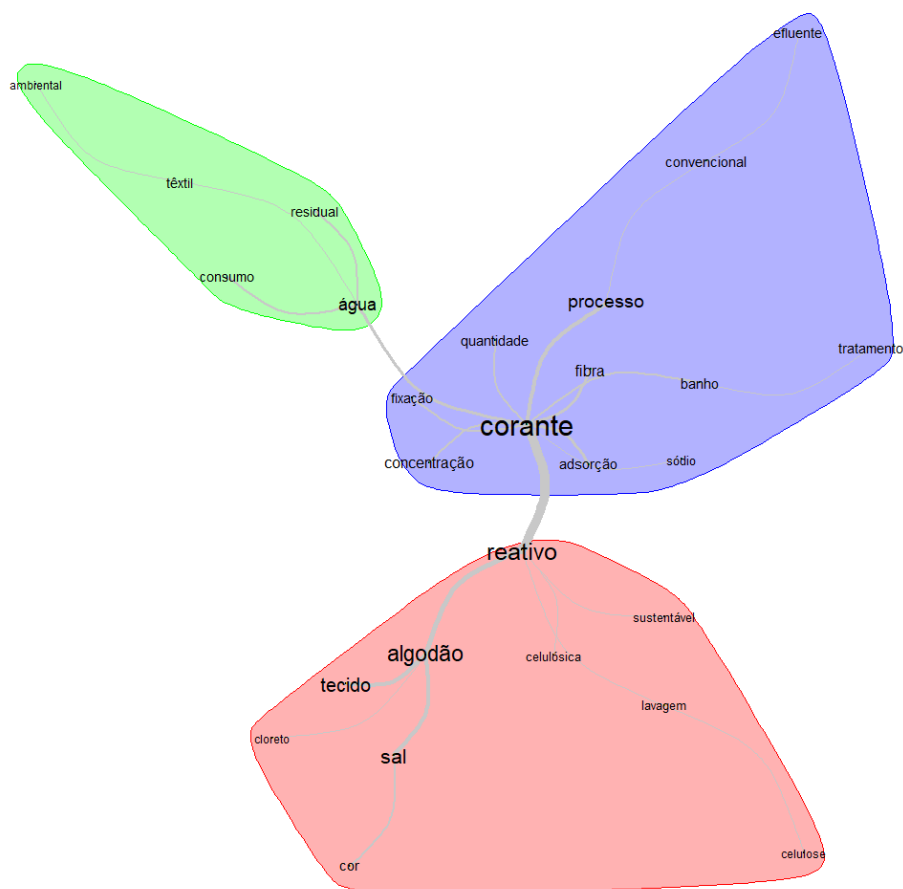
Na classe 3 as palavras fazem referência aos testes que podem ser feitos na amostra

tratada pelo método alternativo, pois para um método ser viável o material precisa passar nas análises de: fricção, resistência, solidez à lavagem, afinidade tintorial, todos esses resultados devem ser estudados para que o método seja considerado bom.

As classes 2 e 4 estão diretamente relacionadas, pois relacionam a concentração do sal e seu efeito iônico na ligação entre o agente do corante e o tecido de algodão (fibra celulósica) interferindo no seu grupo catiônico e na cor final do tingimento. A classe 6, por fim, relaciona os parâmetros de tingimento que precisam ser controlados, pois interferem no resultado final, com: pH, parâmetro, equilíbrio, temperatura, análise, equilíbrio, o efeito cinético e a adsorção do corante.

Na etapa a seguir, na Figura 5 realizou-se a análise de similitude, esta análise permite observar a conexão entre as palavras nos textos avaliados. Quanto maior a palavra e a linha de ligação entre elas, maior a relevância de conexão entre elas e nos textos extraídos. Observam-se em destaque no balão verde a palavra “água”; no balão azul o termo “corante” e no rosa a palavra “reativo”.

Figura 5 - Análise de similitude para os textos analisados



Fonte: autores (2025).

No centro da Figura 5, apresenta o termo “corante” ligado diretamente com o termo “reativo” que é a classe do corante pesquisado. O termo água está ligado ao corante por uma

linha direta, por ser necessário a diluição, porém, na escrita essa diluição não é enfatizada, junto ao termo água, está diretamente ligado o seu consumo, e a seu efluente, também conhecido como “água” residual no âmbito têxtil.

O termo corante está diretamente ligado aos termos “processo, fibra, quantidade, fixação, banho, concentração” pois essas variáveis afetam diretamente a fixação do corante e o efeito final do processo. O termo reativo está ligado à matéria prima do algodão, que pode ser ligado ao tecido ou malha, para o processo convencional com corante reativo é necessário usar o sal, ou cloreto de sódio (nome técnico), este tipo de tingimento é usado para fibras celulósicas, de origem natural como o algodão.

Os textos utilizados como base no presente estudo demonstram a forte relação entre o setor têxtil e a produção de efluentes, que se integra sendo importantes ações que possam minimizar este aspecto ambiental. Uma possibilidade seria o uso de máquinas com menor proporção de banho. Antes de descarregar resíduos industriais em corpos de água, as indústrias têxteis devem seguir normas e regulamentos ambientais que variam a cada país. A descarga de corantes em corpos de água afeta sua transparência prejudicando a fotossíntese das plantas, além de gerar alergias ou infecções cutâneas (Khan; Waseem Ullah, 2023).

Em alguns métodos alternativos, já é utilizado o método de tingimento em duas etapas, na primeira com a modificação catiônica do tecido por exaustão, e na segunda, a fixação entre o corante e a fibra, a primeira etapa foi a modificação catiônica do tecido de algodão por exaustão ou cura em almofada para preparar o tecido de algodão cationizado; a segunda etapa foi o tingimento do tecido de algodão cationizado com corante reativo. Em Wang e Lei, o componente usado para essa modificação é o CHPTAC (Wang; Lei. 2022).

O tecido de algodão é amplamente usado por sua boa respirabilidade e conforto, é uma matéria prima usada desde antes do desenvolvimento da indústria sintética. Entretanto, os tecidos e malhas de algodão adquirem carga superficial negativa em contato com a água, isso dificulta a absorção de corantes reativos (que apresentam melhor fixação), pois a carga causa repulsão eletrostática, para reduzir esta repulsão é adicionado um agente eletrólito, que é na maioria das vezes o sal, por ser um agente acessível (Wang; Lei. 2022).

Existem alguns métodos alternativos que utilizam óleo (Kuhn; Daniele, 2020) e outros auxiliares para tingir sem sal como: (Ghosh; Joyjit, 2023); (Pei; Liujun, 2022) com sulfato de sódio; (Pruš; Stanislaw, 2022) com cloreto de cloro, dentre outras que têm o mesmo objetivo, substituir a função do sal na utilização da cadeia celulósica (modificação catiônica na cadeia de celulose).

Além das leis que determinam os níveis máximos de poluentes que podem conter em um efluente a ser descartado, um grande desafio é tratar o sal proveniente do tingimento com corante reativo. Desta forma, a necessidade do tratamento torna-se mais significativa, para o lançamento de efluentes em corpos hídricos (Martins; Naiara. 2016).

O método mais usado são as membranas de troca iônica por sistema de eletrodialise, que é um método mais limpo e eficiente energeticamente. Apesar de muito eficientes, estas membranas não são produzidas no Brasil, isto fomenta a necessidade de um método alternativo de produção com insumos nacionais. Esta limitação no método de dessalinização é apenas uma, das inúmeras barreiras da implantação desse método dentro das indústrias (Martins; Naiara, 2016).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A indústria têxtil tem influência direta na economia mundial, tanto pela geração de empregos quanto pela produção que agrega valor aos materiais de origem, especialmente em países emergentes, que também precisam se preocupar com a sustentabilidade. Os elevados

impactos ambientais gerados pela cadeia produtiva, especialmente o tingimento, é caracterizado pelo intenso consumo de água, energia e produtos químicos, consequentemente, produzindo resíduos e efluentes. O tingimento se destaca negativamente no ponto de vista ambiental, devido à necessidade de eletrólitos para fixação do corante, é utilizado o NaCl para auxiliar nesse processo, torna o efluente com alta salinidade, dificultando seu tratamento e descarte.

Para contornar esse cenário, é necessária a adoção de práticas sustentáveis em toda produção têxtil, em destaque para o processo de tingimento, a análise realizada nesse estudo revelou que as alternativas mais viáveis são: uso de ativos multifuncionais, reutilização de banhos, métodos para modificação iônica do tecido de celulose, além de sistemas de dessalinização com membranas e eletrodiálise. Essas alternativas ainda são distantes do contexto atual brasileiro, pela dependência de insumos importados e pela limitação tecnológica.

Por fim, para concretizar inovações realmente sustentáveis, depende não apenas da inovação tecnológica, mas também do comprometimento desse setor com a legislação ambiental, e a gestão responsável e otimizada dos recursos naturais. A integração entre o conhecimento científico, pesquisas e desenvolvimento, políticas públicas, e práticas industriais, é fundamental para equilibrar os ganhos econômicos com a preservação, proporcionando a viabilidade da produção e preservação dos recursos a longo prazo.

REFERÊNCIAS

AYSHA, Tarek S. et al. Eco-friendly salt/alkali-free exhaustion dyeing of cotton fabric with reactive dyes. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 1-12, 2022.

BURKINSHAW, Stephen M.; SALIHU, George. The role of auxiliaries in the immersion dyeing of textile fibres: Part 6 analysis of conventional models that describe the manner by which inorganic electrolytes promote reactive dye uptake on cellulosic fibres. **Dyes and Pigments**, v. 161, p. 595-604, 2019.

CUNHA, Marta Sofia Carvalho. Redução do impacto ambiental do tingimento de fio considerando a reutilização de banhos do processo. 2023. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Têxtil) – Universidade do Minho, Portugal, 2023.

DEĞERMENCI, Gökçe Didar et al. Adsorption of reactive dyes on lignocellulosic waste; characterization, equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. **Journal of Cleaner Production**, v. 225, p. 1220-1229, 2019.

EREN, Semiha *et al.* Salt-Free Dyeing of Cellulosic Fibers. In: MISHRA, A. K.; MISHRA, D. (org.). **Sustainable Manufacturing Practices in the Textiles and Fashion Sector**. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. p. 23-54.

GHOSH, Joyjit; RUPANTY, Nishat Sarmin. Study on a cationic agent-based salt-free reactive dyeing process for cotton knit fabric and comparison with a traditional dyeing process. **Heliyon**, v. 9, n. 9, 2023.

HOQUE, Mohammad Toufiqul et al. Evaluation of chitosan based pretreatment for cotton and linen dyeing with direct dyes and reactive dyes. **Communications in Development and Assembling of Textile Products**, v. 4, n. 2, p. 187-200, 2023.

HU, Qiushuang et al. Level dyeing property and aggregation morphology of reactive black 5 on cotton fabric in a salt-free and less-water dyeing system. **Textile Research Journal**, v. 94, n. 5-6, p. 598-608, 2024.

JUNIOR, Biagio de Oliveira Mendes. Setor têxtil – produção, comércio internacional e perspectivas para Brasil, Nordeste, Ceará e Pernambuco em 2021. **Caderno Setorial ETENE**, v. 6, 2021.

KHAN, Waseem Ullah *et al.* A critical review of hazardous waste generation from textile industries and associated ecological impacts. **Journal of the Indian Chemical Society**, v. 100, n. 1, p. 100829, 2023.

KHANDAKER, S. *et al.* Sustainable energy generation from textile biowaste and its challenges: a comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 157, p. 112051, 2022.

KUHN, Daniele; DE AGUIAR, Catia Rosana Lange. Tingimento de algodão com corante reativo sem uso de sal por meio da aplicação de óleo de soja. In: **Fórum Internacional de Resíduos Sólidos – Anais**, 2020.

LUZ, Débora Kauanna Régis da. Aspectos ambientais na indústria têxtil: uma revisão bibliográfica. 2025. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2025.

MARTINS, Naiara Camila; RODRIGUES, Laura Bittencourt; RODRIGUES, Marco Antônio Siqueira; MARTINS, Ricardo Martins de. Preparação, caracterização e aplicação de membranas em eletrodialise para dessalinização de efluente. **Anais do Congresso de Iniciação Científica da Universidade Feevale**, Novo Hamburgo: Universidade Feevale, 2016.

MELO, Camila G. *et al.* **Águas residuais de tingimentos têxteis por processo convencional e após tratamento e reutilização**. 2022.

OLIVEIRA, Carlos Rafael Silva et al. Textile Re-Engineering: Eco-responsible solutions for a more sustainable industry. **Sustainable Production and Consumption**, v. 28, p. 1232-1248, 2021.

PEI, Liujun et al. Salt-free dyeing of cotton fabric and adsorption of reactive dyes in non-aqueous dyeing system: equilibrium, kinetics, and thermodynamics. **Cellulose**, v. 29, n. 8, p. 4753-4765, 2022.

PRUŚ, Stanislaw et al. Eco-friendly dyeing of cationised cotton with reactive dyes: mechanism of bonding reactive dyes with CHPTAC cationised cellulose. **Cellulose**, v. 29, n. 7, p. 4167-4182, 2022.

SACHETT, Felipe Henrique. Desenvolvimento de membranas de destilação de polifluoreto de vinilideno (PVDF) para tratamento de efluente têxtil. 2019. 86 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia de Processos e Tecnologias) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2019.

SOUZA, M. A. R.; WALL, M. L.; THULER, A. C. M. C. *et al.* The use of IRAMUTEQ

software for data analysis in qualitative research. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, v. 52, e03353, 2018.

WANG, Lei et al. A single-step pad-steam cationisation and dyeing process for improving dyeing properties of cotton fabrics. **Coloration Technology**, v. 138, n. 5, p. 509-521, 2022.

WEI, Yimin et al. A salt-free and water-saving approach as a green alternative to conventional reactive dyeing of cotton. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 24, p. 100536, 2021.

ZHANG, Tingting et al. Reactive dyeing of cationized cotton fabric: the effect of cationization level. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 9, n. 36, p. 12355-12364, 2021.

