REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA SOBRE TÊXTEIS REVESTIDOS COM POLIPIRROL PARA APLICAÇÕES DE AQUECIMENTO.

Mariana Pereira Lopes[1*], Larissa Modesto Nascimento[1], Claudia Merlini[2], Leonardo Mejia Rincon[1], Fernanda Steffens[1,*]

[1]Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Blumenau, Brasil (mariana.p.lopes@posgrad.com.br; fernanda.steffens@ufsc.br*)*

[2]Programa de Pós-Graduação em Nanociência, Processos e Materiais Avançados (PPGNPMat) Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Blumenau, Brasil

Resumo: Este estudo apresenta uma revisão sistemática da literatura sobre têxteis inteligentes revestidos com polipirrol (PPy) para aplicações em aquecimento. Foram identificadas 439 publicações dos últimos cinco anos nas bases de dados Scopus, Science Direct e Google Scholar, utilizando operadores booleanos para combinação de palavras-chave. Os resultados mostram que a polimerização *in situ* é o método mais eficiente para obtenção de tecidos condutivos, sendo algodão e poliéster os substratos mais utilizados, com estruturas tridimensionais seguidas por estruturas convencionais de tecido plano e malhas. Identificou-se um crescimento expressivo das publicações entre 2020 e 2021, seguido de uma estabilidade nos anos subsequentes, indicando o amadurecimento das pesquisas na área.

Palavras-chave: Têxteis Inteligentes; PICO; Polimerização; Condutividade Elétrica.

INTRODUÇÃO

Os têxteis inteligentes estão ganhando cada vez mais espaço no mercado, justamente por se tratar de materiais que vão além da função tradicional de vestir e proteger. Consequente, o número de pesquisas científicas relacionadas ao tema também tem aumento consideravelmente nos últimos anos. Esses materiais interagem com o ambiente ou com o usuário. São projetados para detectar estímulos externos (como temperatura, pressão, luz, eletricidade, pH, entre outros) e responder de maneira funcional e controlada, podendo, por exemplo, aquecer, resfriar, monitorar sinais fisiológicos ou modificar propriedades mecânicas (JÚNIOR et al., 2022).

De acordo com o relatório da Data Bridge Market Research, o mercado global de têxteis inteligentes está projetado para crescer significativamente nos próximos anos. Estimativas indicam que o valor do mercado, que era de aproximadamente US$ 2,8 bilhões em 2022, alcançará US$ 24,84 bilhões até 2030, representando uma Taxa de Crescimento Anual Composta (CAGR - *Compound Annual Growth Rate*) de 31,3 % para o período de 2023 a 2030. Esse crescimento é impulsionado pela crescente demanda por tecidos capazes de integrar sensores, atuadores e sistemas de comunicação, aplicados especialmente em setores como saúde, esportes, defesa e moda. A versatilidade desses materiais, que podem monitorar sinais vitais, adaptar-se a condições ambientais e interagir com dispositivos eletrônicos, torna-os cada vez mais relevantes em um mundo orientado pela tecnologia e pela conectividade (DATA BRIDGE MARKET RESEARCH, 2025).

Essas tecnologias podem ser integradas às fibras, fios ou diretamente à superfície do tecido, permitindo que o material responda a estímulos externos ou internos. Os têxteis inteligentes são classificados em três categorias: passivos (detectam sinais); ativos (reagem a estímulos); e muito ativos ou ultrainteligentes (aprendem e se adaptam) (MAESTRI *et al*., 2023). A miniaturização dos componentes eletrônicos e a utilização de materiais condutores, como polímeros eletrônicos e nanomateriais, têm impulsionado o desenvolvimento e a aplicação desses têxteis em diversas áreas. Tais avanços reforçam a relevância dos têxteis inteligentes na consolidação da indústria 4.0 no setor têxtil, caracterizando-os como uma tendência promissora em inovação e conectividade (SERRANO et al., 2023).

Dentre a classificação dos materiais têxteis com comportamento inteligente, os têxteis eletrônicos se destacam por incorporar propriedades que permitem a condução de corrente elétrica por meio de revestimentos com materiais condutores, como

metais, nanopartículas ou polímeros intrinsicamente condutores. Neste último grupo, o polipirrol (PPy) tem ganhado atenção significativa por reunir características desejáveis como condutividade elétrica estável, facilidade de síntese, boa aderência a substratos e resistência a ciclos de uso e lavagem (STOPPA; CHIOLERIO, 2014).

O polipirrol é um polímero condutor orgânico obtido a partir da polimerização do monômero pirrol, geralmente por métodos químicos ou eletroquímicos O mecanismo de condução do PPy é baseado na presença de elétrons ao longo da cadeia conjugada. Em seu estado neutro, o polímero apresenta baixa condutividade. A introdução de dopantes (geralmente ânions, no caso do PPy dopado por oxidação) permite a formação de portadores de carga como polaron e bipolaron, estruturas responsáveis pela condução. Em tecidos, onde o PPy é depositado sobre a superfície das fibras, o transporte elétrico se dá por meio de redes percolantes, nas quais a corrente atravessa caminhos formados por regiões condutoras interconectadas. Estudos experimentais demonstram que tecidos tratados com PPy podem atingir temperaturas de 40 a 70 °C com tensões da ordem de 3 a 12 volts, mantendo a sua integridade mecânica e ainda conferindo conforto proporcionado pelo substrato têxtil. Além disso, o revestimento com PPy pode ser aplicado por métodos como imersão, spray, polimerização *in situ*, entre outros (HUANG et al., 2019).

Quando aplicado sobre superfícies têxteis, sejam elas tecidos planos (como algodão ou poliéster) ou malhas (com estruturas mais flexíveis e maior fator de cobertura), o PPy forma um revestimento condutor que preserva a flexibilidade e o toque do material original, ao mesmo tempo em que permite o aquecimento por efeito Joule. Ou seja, ao ser atravessado por corrente elétrica, o tecido revestido aquece de forma controlada, tornando-se útil em aplicações como vestuário térmico, terapia por calor, equipamentos médicos portáteis, e dispositivos de conforto ambiental (JANGRA; VISHNOI; MAITY, 2023).

A polimerização do PPy por meio da técnica de polimerização *in situ* tem se mostrado uma abordagem eficaz para a funcionalização de substratos têxteis com propriedades condutoras. Essa reação ocorre em meio aquoso ácido por imersão do tecido limpo em uma solução contendo o monômero pirrol, seguido pela adição de um agente oxidante. Essa técnica permite a formação de um revestimento homogêneo de PPy sobre substratos fibrosos, resultando em materiais com condutividade elétrica estável. A simplicidade do processo, aliada à boa aderência do polímero às fibras, torna a polimerização *in situ* uma alternativa viável e amplamente utilizada no desenvolvimento de têxteis inteligentes (Liu et al., 2023).

Materiais inovadores e funcionais oferecem respostas específicas a estímulos, como calor, umidade, pressão ou sinais elétricos, ampliando significativamente o campo de aplicação dos produtos têxteis. Segundo Stoppa e Chiolerio (2014), a combinação de têxteis eletrônicos, fibras condutoras e sensores integrados transformam os têxteis em plataformas altamente funcionais, o que exige a atuação de profissionais com conhecimento multidisciplinar. Nesse contexto, o Engenheiro Têxtil ocupa posição estratégica, articulando saberes das áreas de engenharia de materiais, eletrônica, química e design industrial. Sua atuação é essencial tanto na escolha de matérias-primas quanto no desenvolvimento de processos e no desempenho final dos produtos. Assim, justificar um estudo voltado à aplicação de polipirrol em substratos têxteis para aquecimento térmico encontra respaldo direto nesse cenário tecnológico e interdisciplinar.

Portanto, este trabalho de investigação tem como objetivo uma revisão sistemática da literatura, analisando a evolução das pesquisas relacionadas aos têxteis inteligentes com revestimento em polipirrol para finalidade de aquecimento.

MATERIAL E MÉTODOS

Esta revisão adequou-se como ferramenta para estruturar e conduzir a revisão sistemática da literatura sobre a aplicação do polipirrol em têxteis inteligentes voltados ao aquecimento. O objetivo é reunir, avaliar e sintetizar as evidências disponíveis sobre o tema da pesquisa, como mostra a estrutura da Figura 1.

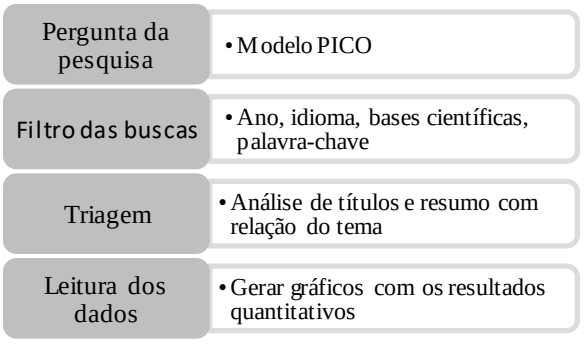


Figura 1. Metodologia da revisão.

A seleção das palavras-chave teve como inspiração a definição dos seguintes termos relacionados a pesquisa: “polypyrrole”, “smart textiles”, “heating”, “electrotextile” e “smart clothing”. Os filtros de buscas foram realizados em bases de dados reconhecidas (Scopus, Science Direct e Google Scholar), filtragem por idioma em inglês e período de 2020 a 2025, eliminando duplicatas e a análise quantitativa da produção científica. Com isso, pretendeu-se identificar as principais contribuições, tendências e lacunas na literatura, fornecendo uma base sólida para o desenvolvimento do referencial teórico e das etapas seguintes da pesquisa.

A partir das palavras de inspiração selecionadas, foram empregados operadores lógicos booleanos, fundamentais para a construção das combinações das palavras-chave. A aplicação do operador AND possibilitou a intersecção entre os temas têxteis condutivos e polipirrol para aquecimento, enquanto OR ampliou o escopo ao incluir sinônimos e variações. Portanto, foram as seguintes combinações realizadas: "electrotextile" AND "polypyrrole" AND "smart clothing", "heating textile" AND "polypyrrole", "polypyrrole textile" and "heating", "polypyrrole-coated fabric" AND ("heating" OR "thermal"), "polypyrrole" AND "textile" AND ("heating" OR "thermal"), TITLE-ABS-KEY((polypyrrole OR PPy) AND (textile OR fabric OR fiber) AND (heating OR thermal)).

Ainda na primeira etapa da revisão foi formulada uma pergunta de pesquisa clara e direcionada, a fim de guiar todas as etapas subsequentes. A questão central foi: “Quais são as principais abordagens, materiais e desempenhos relatados na aplicação de polipirrol em têxteis para aquecimento térmico?”. Para estruturação dessa pergunta, utilizou-se como ferramenta de apoio uma adaptação da estratégia PICO, com os seguintes elementos:

(I) **P (População):** têxteis técnicos ou funcionais;

(II) **I (Intervenção):** aplicação de polipirrol como material condutor;

(III) **C (Comparação):** outras técnicas ou materiais condutores;

(IV) **O (Resultado):** capacidade de aquecimento, estabilidade térmica, flexibilidade e eficiência energética.

O escopo da revisão incluiu a definição de critérios de inclusão e exclusão, bem como a seleção das bases de dados e a estratégia de busca. Foram considerados como triagem da análise de título e resumo que abordassem a aplicação de polipirrol em substratos têxteis, apresentassem dados experimentais relacionados ao desempenho térmico, estivessem publicados entre os anos de 2020 e 2025, e estivessem escritos no idioma em inglês. A busca foi realizada nas bases de dados científicas supracitadas, e os resultados foram importados para arquivo de excel e realizado a análise de acordo com a metodologia apresentada na Figura 1.

Conforme destaca Kitchenham (2004), a revisão sistemática é especialmente útil em áreas aplicadas como a engenharia, pois permite consolidar evidências, identificar lacunas e orientar decisões experimentais de maneira fundamentada.

Por fim, foram selecionados dois artigos com maior significância para o tema. Um dos artigos com abordagem bem específica ao tema de aquecimento com revestimento de PPy e o outro, um estudo mais aprofundado do processo em condutividade, analisando seus parâmetros de pesquisa e potencial de aplicação. Usou-se uma tabela comparativa entre os artigos para o entendimento dos materiais utilizados, bem como a estrutura têxtil escolhida, o tipo de mecanismo de aquecimento, os testes laboratoriais realizados, os resultados obtidos como a temperatura alcançada e a oportunidade de aplicação do material têxtil revestido com polipirrol.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As bases de dados selecionadas para a realização desta revisão foram a Science Direct, Scopus e o Google Scholar, escolhidas por possuírem um amplo acervo de periódicos com ênfase nas áreas de engenharia, tecnologia e inovação, o que proporciona respaldo teórico e científico à abordagem da temática “têxteis com revestimento de polipirrol para fins de aquecimento”.

Como estratégia de busca, foram utilizadas as seguintes palavras-chave com diferentes combinações através dos operadores lógicos booleanos: "electrotextile" AND "polypyrrole" AND "smart clothing", "heating textile" AND "polypyrrole", "polypyrrole textile" and "heating", "polypyrrole-coated fabric" AND ("heating" OR "thermal"), "polypyrrole" AND "têxtil" AND “heating” AND “thermal”, TITLE-ABS-KEY((polypyrrole OR PPy) AND (textile OR fabric OR fiber) AND (heating OR thermal)).

Foi limitado o período dos últimos 5 anos (2020-2025) com o foco de estudos mais recentes subdivididos nas seguintes categorias: artigos de pesquisa, artigo de revisão e capítulo de livro. A Tabela 1 identifica a representatividade da busca nas bases com os filtros mencionados.

Tabela 1. Filtro de palavras-chave.

Palavras-Chave	2020-2025
"electrotextile" AND "polypyrrole" AND "smart clothing"	11
"heating textile" AND "polypyrrole" "polypyrrole textile" and "heating"	121
"polypyrrole-coated fabric" AND ("heating" OR "thermal")	22
"polypyrrole-coated fabric" AND ("heating" OR "thermal")	77
"polypyrrole" AND "têxtil" AND ("heating" OR "thermal")	68

TITLE-ABS-KEY((polypyrrole OR PPy) AND (textile OR fabric OR fiber) AND (heating OR thermal))	140

As seis combinações de palavras-chave apresentadas, considerando os métodos de pesquisa com relação direta ao tema, totalizaram 439 artigos encontrados entre os anos de 2020 e 2025.

Termos amplos e gerais como o último grupo de palavras-chave (a linha que começa com TITLE-ABS-KEY((polypyrrole OR PPy)...) apresentaram o maior pico em 2021, com quase 50 ocorrências, sugerindo uma elevada produção científica naquele ano em tomo do tema. Essa busca ampla capta um número elevado de publicações.

A Figura 2 evidencia a evolução do tema de acordo com as palavras-chave definidas ao longo dos anos.



Figura 2. Evolução do tema por ano.

Algumas combinações mais específicas, como “electrotextile” AND “polypyrrole” AND “smart clothing” têm baixa ocorrência, como mostra a Figura 2 na legenda na cor azul mais escuro, o que pode indicar lacunas na literatura ou oportunidades para futuras pesquisas.

A busca por "heating textile" AND "polypyrrole" apresentou o comportamento mais estável e expressivo ao longo dos anos, especialmente em 2023 e 2024, se comparado as demais buscas. Indicando que esta combinação representa um eixo central das pesquisas no tema, visto na legenda na cor avermelhada.

Na legenda na cor verde, a palavra-chave "polypyrrole textile" and "heating" apresentou poucas publicações, com no máximo 5 por ano. Indicando que essa combinação específica de termos não é a mais comum na literatura.

A combinação "polypyrrole-coated fabric" AND ("heating" OR "thermal") teve maior destaque em 2022 e 2024, sinalizando um foco recente em revestimentos de tecidos com polipirrol para fins térmicos, onde foi ilustrado na legenda da Figura 2 na cor lilás.

A busca com “polypyrrole” AND “textile” AND (“heating” OR “thermal”) mostra na legenda na cor azul claro um crescimento constante entre 2020 e 2023, indicando que o interesse por estudos ao tema tem se mantido relevante. Apesar da diminuição em 2024, o crescimento nas demais buscas indicam um direcionamento mais específico nas pesquisas do tema.

A combinação mais abrangente, TITLE-ABS-KEY((polypyrrole OR PPy) AND (textile OR fabric OR fiber) AND (heating OR thermal)) identificada na legenda pela cor laranja, foi a com maior volume de publicações, com um pico muito acentuado em 2021, com 46 publicações, e mantendo volumes altos nos anos seguintes, exceto uma queda em 2023.

A Figura 3 evidencia a evolução anual da produção científica relacionada ao tema a partir de todas as palavras-chave previamente definidas. Observa-se um crescimento expressivo no número de publicações de 2020 para 2021, ano que registrou o pico da produção com mais de 100 artigos. Esse aumento sugere um interesse crescente e repentino da comunidade científica pelo tema naquele período, possivelmente impulsionado pelo avanço das pesquisas em têxteis funcionais, materiais condutores e aplicações em dispositivos vestíveis.



Figura 3. Artigos publicados por ano.

Nos anos seguintes, embora tenha havido uma leve queda em 2022 (cerca de 68 artigos), o número de publicações voltou a subir em 2023, atingindo aproximadamente 92 artigos, e se manteve elevado em 2024 com 80 publicações, o que demonstra uma continuidade no interesse e amadurecimento do campo. Em 2025, teve-se como resultado 59 artigos. Importante mencionar que a pesquisa foi conduzida até maio de 2025, e o ano ainda não finalizou

De forma geral, os dados revelam uma trajetória de consolidação do tema no meio acadêmico e indicam que o uso de polipirrol em têxteis com propriedades térmicas permanece relevante, com flutuações que

podem refletir o ciclo de maturidade tecnológica e a renovação das linhas de pesquisa associadas.

A Figura 4 ilustra a quantidade de publicações científicas encontradas a partir de diferentes combinações de termos relacionados ao tema, que se obteve como resultado as palavras-chave. As buscas boleanas preliminares iniciaram com as palavras isoladas, que utilizam como ponto central a palavra *polypyrrole* apresentaram os resultados mais expressivos. Termos como *polypyrrole AND textile* e *polypyrrole-coated fabric* também apresentaram um número significativo de publicações, reforçando o interesse da comunidade científica em aplicações de polipirrol em tecidos inteligentes. Por outro lado, combinações mais genéricas como *heating textile* ou *smart clothing* resultaram em poucos artigos, destacando a importância de uma escolha criteriosa das palavras-chave para buscas bibliográficas eficientes.



Figura 4. Artigos por palavras-chave isoladas.

Os resultados indicam crescimento do interesse no tema ao longo dos anos. As palavras-chave revelam foco em aplicações térmicas e materiais condutivos.

A análise realizada com base nos gráficos demonstra a consolidação e relevância crescente do tema envolvendo a aplicação de polipirrol em têxteis com propriedades térmicas. Na Figura 4, onde foram utilizadas as palavras-chave de maneira isolada, e não combinadas com os operadores lógicos booleano, percebe-se que termos amplos como “polypyrrole”, “textile” e “heating” concentram a maior parte das ocorrências, indicando um eixo central de pesquisa consolidado. Além disso, o uso crescente de palavras-chave específicas como “polypyrrole-coated fabric” e “heating textile” revela uma tendência de aprofundamento técnico nas aplicações térmicas. Por outro lado, a baixa incidência de termos como “electrotextile” e “smart clothing” aponta para possíveis lacunas e oportunidades de inovação em áreas emergentes da Engenharia Têxtil. Essas lacunas podem ser interpretadas como oportunidades de pesquisa dentro dessa temática.

Para responder à pergunta da pesquisa sistemática, foram identificados pontos em comum nas bases de dados consultadas, que contribuíram para a construção e desenvolvimento futuro do possível produto final, como aplicações em têxteis inteligentes e dispositivos eletrônicos vestíveis. Observou-se entre os artigos das bases pesquisadas nos gráficos que a polimerização *in situ* foi o método mais eficaz, garantindo uniformidade e boa condutividade. Algodão e poliéster foram os substratos mais comuns. Temperaturas de até 70 °C foram alcançadas com 6-9 V. Desafios como perda de condutividade após lavagem persistem, sendo estudadas alternativas como encapsulamento com PU ou silicone e materiais híbridos. De forma geral, existe uma carência nas publicações encontradas em relação a produção industrial e sua aplicabilidade, como a escolha do mecanismo de aquecimento.

Para realizar a última etapa da revisão sistemática que consiste na “leitura dos dados” (Figura 1), foram selecionados dois artigos que se complementam dentro da proposta do escopo do tema da pesquisa, sendo um com foco em aquecimento e o outro com abordagem mais geral da condutividade elétrica. O primeiro é *“Study of Electrical and Mechanical Properties of Polypyrrole-Coated Three-Dimensional Spacer Fabric”* do autor Juan Luo, Si Chen, and Da-Wei Shi, 2024. E o Segundo é *“Electrothermal Modeling and Analysis of Polypyrrole-Coated Wearable E-Textiles”* da autora Akif Kaynak, 2021.

O primeiro artigo publicado no periódico Textile Research Journal (classificado no quartil Q2 nas áreas de Engenharia Química e Polímeros), investiga o desenvolvimento de tecidos tridimensionais revestidos com polipirrol (PPy) por meio de polimerização oxidativa. O estudo avalia as propriedades elétricas, mecânicas e térmicas dos tecidos, com foco em sua capacidade de aquecimento por efeito Joule, onde o material aquece ao receber corrente elétrica de uma fonte de tensão. Os resultados mostram boa aderência do revestimento, condutividade estável e resistência mecânica preservada, apontando seu potencial para aplicações em têxteis funcionais e vestíveis. Apesar da publicação ser em um periódico de médio impacto na área, a revista é considerada de elevada relevância na área de Engenharia Têxtil, o que demonstra relevância científica e rigor metodológico adequados ao tema.

O artigo publicado no periódico Materials da editora MDPI, intitulado *“Development of Electro-Conductive Textile Based on Polypyrrole Coating Using Various Dyeing Techniques”*, investiga métodos de revestimento com PPy em tecidos utilizando diferentes técnicas de tingimento para produzir materiais têxteis condutores. O estudo avalia como os métodos afetam a condutividade elétrica, aderência e uniformidade do revestimento. A revista Materials está classificada como Q1 em várias áreas

da engenharia e ciência dos materiais, o que indica alto impacto e relevância científica.

A Tabela 2 apresenta o comparativo da caracterização entre os dois artigos selecionados, identificando a estrutura do tecido utilizado, polimerização realizada, o mecanismo de aquecimento para medir o efeito joule, os resultados e aplicações.

Tabela 2. Comparativo dos artigos.

Critério	Artigo 1	Artigo 2
Estrutura Têxtil	Tecido 3D do tipo *spacer*	Tecido plano de algodão
Polimerização	Polimerização oxidativa *in situ* com pirrol, $FeCl_3$ e ácido p-tolueno sulfônico	Revestimento por tingimento com diferentes técnicas aplicadas para deposição de PPy
Mecanismo de Aquecimento	Efeito Joule, com aplicação de corrente por fonte de tensão	Efeito Joule, com análise da condutividade
Resultados	Boa adesão do revestimento, alta condutividade elétrica, estabilidade térmica e resistência mecânica	Eficiência variável conforme o método de tingimento; condutividade elétrica considerável
Aplicações	Têxteis inteligentes com foco em aquecimento e vestíveis funcionais	Desenvolvimento de tecidos condutores para uso em sensores, *wearables* e aquecimento passivo

Analisando a pergunta de pesquisa elaborada inicialmente: "Quais são as principais abordagens, materiais e desempenhos relatados na aplicação de polipirrol em têxteis para aquecimento térmico?", pode-se afirmar que envolvem, a polimerização *in situ*, devido à sua eficiência na formação de revestimentos homogêneos e condutores. Matérias-primas de algodão, poliéster e tecidos tridimensionais (spacer) são os substratos mais utilizados, por oferecerem boa aderência e flexibilidade. Os desempenhos relatados indicam que os tecidos podem atingir temperaturas entre 40 °C e 70 °C, com tensões de 6 a 9 volts, através do efeito Joule. Contudo, desafios como perda de condutividade após lavagem e limitações na durabilidade térmica ainda são recorrentes, destacando a necessidade de melhorias nos processos e na proteção dos revestimentos.

CONCLUSÃO

A aplicação da metodologia da revisão sistemática permitiu mapear as principais contribuições científicas no tema proposto e identificar lacunas para futuras investigações. As contribuições estão relacionadas ao desenvolvimento de métodos de polimerização, melhoria da condutividade e da estabilidade dos têxteis com polipirrol para aquecimento. Como lacunas, se destacam a baixa durabilidade térmica relacionada a resistência à lavagem e padronização na avaliação do desempenho térmico desses materiais, bem como a escolha dos dispositivos de aquecimento para uma real aplicação.

O uso de polipirrol como revestimento condutor para têxteis aquecidos é tecnicamente viável e promissor. A polimerização *in situ* oferece bons resultados em substratos como algodão e malhas sintéticas. Limitações relacionadas à durabilidade e lavabilidade devem ser exploradas. Estudos futuros devem focar em soluções de encapsulamento e sustentabilidade do processo.

Os últimos três anos reforçam a relevância e atualidade do tema proposto neste trabalho. Além disso, os dados indicam que o termo "heating textile" associado a "polypyrrole" é uma das combinações mais utilizadas, sugerindo um foco consolidado na literatura relacionada a pesquisa científica. Esses dados reforçam a atualidade do tema deste trabalho e evidenciam um campo interdisciplinar em desenvolvimento, no qual engenheiros têxteis desempenham papel estratégico na integração entre materiais funcionais, design de produto e tecnologias inteligentes.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (PROCESSO FAPESC N.º: 3245/2024), pelo apoio que contribuiu para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

CHEN, Shi Da; ZHANG, Zhi Wei; LI, Meng; ZHANG, Zhi Gang; ZHANG, Zhi Qiang. Study of electrical and mechanical properties of polypyrrole-coated three-dimensional spacer fabrics. Journal of Engineered Fibers and Fabrics, [S. l.], v. 18, p. 1–10, 2023.

DATA BRIDGE MARKET RESEARCH. obal Smart Textiles Market – Industry Trends and Forecast to 2030. Disponível em: https://www.databridgemarketresearch.com/pt/rep

orts/global-smart-textiles-market. Acesso em: 18 maio 2025.

ERRANO, Rosiane; BORTONCELLO, Laura; KIPPER, Liane Mahlmann; DAL FORNO, Ana Julia. Evolução temática da tecnologia wearable no setor têxtil e de vestuário: 2001 - 2021. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO – ENEGEP, 43., 2023, Fortaleza. Anais [...]. Fortaleza: ABEPRO, 2023.

HUANG, L. et al. Flexible textile electrodes based on polypyrrole-coated fabrics for wearable heating devices. Sensors and Actuators B: Chemical, v. 286, p. 411–420, 2019.

JANGRA, S.; VISHNOI, P.; MAITY, S. Development of polypyrrole-based thermoelectric cotton fabric. Journal of the Textile Institute, [S. l.], v. 114, n. 12, p. 2079–2087, 2023.

JÚNIOR, H. L. O. et al. Smart Fabric Textiles: Recent Advances and Challenges. Textiles, [s. l.], v. 2, n. 4, p. 582–605, 2022.

KAYNAK, Akif; ZOLFAGHARIAN, Ali; FEATHERBY, Toby; BODAGHI, Mahdi; MAHMUD, M. A. Parvez; KOUZANI, Abbas Z. Electrothermal modeling and analysis of polypyrrole-coated wearable e-textiles. Materials, Basel, v. 14, n. 3, p. 550, 2021.

KITCHENHAM, Barbara. Procedures for performing systematic reviews. Keele University, 2004.

LIU, Y. et al. Research on the Performance of Polypyrrole Coated Conductive Fabrics Prepared from Different Base Materials. Fibres & Textiles In Eastern Europe, v. 31, n. 2, p. 75-81, 1 jul. 2023. Walter de Gruyter GmbH.

MAESTRI, Gabriela; FERREIRA, Ludimilla B.; BACHMANN, Pedro; PAIM, Ana A. M.; MERLINI, Claudia; STEFFENS, Fernanda. Recent advances in piezoelectric textile materials: a brief literature review. *Journal* of Engineered Fibers and Fabrics, [S. l.], v. 18, p. 1–11, 2023.

STOPPA, M.; CHIOLERIO, A. Wearable Electronics and Smart Textiles: A Critical Review. Sensors, v. 14, n. 7, p. 11957–11992, 2014. DOI: 10.3390/s140711957.