

ACABAMENTO DE ALGODÃO COM NANOPARTÍCULAS DE LIGNINA PARA PROTEÇÃO ULTRAVIOLETA

GUILHERME PEREIRA LOMBELLO; DÉBORA DUARTE RIBES; CRISTIANE WIENKE RAUBACH

UFPeI – guilhermelombello@hotmail.com

UFPeI – deboraribes@hotmail.com

UFPeI – craubach.iqg@ufpel.edu.br

1. DESCRIÇÃO DA INOVAÇÃO

Detalhamento do produto: Esta inovação tecnológica propõe o desenvolvimento de um acabamento têxtil sustentável e multifuncional para tecidos 100% algodão, com o emprego de nanopartículas de lignina (LNPs) e de um sistema de fixação de base biológica. Prevê-se a aplicação pelo processo industrial pad-dry-cure, que compreende as etapas sequenciais de impregnação do substrato têxtil, compressão para controle do pick-up, secagem e cura térmica. A proteção esperada decorre da capacidade dos anéis aromáticos, grupos fenólicos e cromóforos da lignina de absorver radiação nas faixas UVA e UVB (MIKAME et al., 2021). A hipótese tecnológica é que a nanoestruturação favoreça a dispersão da lignina e sua retenção na estrutura porosa do algodão. O desempenho deverá ser comprovado por ensaios de fator de proteção ultravioleta (UPF), solidez à lavagem, alteração de cor, permeabilidade ao ar, molhabilidade e resistência mecânica. As aplicações potenciais incluem vestuário de proteção solar, chapéus, cortinas e têxteis para uso externo.

Diferenciais: A proposta busca substituir, total ou parcialmente, absorvedores UV de origem fóssil e partículas inorgânicas convencionais por lignina Kraft, matéria-prima renovável e disponível como corrente lateral da indústria de celulose. A lignina apresenta grupos químicos capazes de absorver radiação ultravioleta, e sua combinação com matrizes celulósicas já demonstrou potencial para produzir materiais flexíveis com barreira UV (SADEGHIFAR et al., 2017). Em relação à lignina não nanoestruturada, as LNPs podem oferecer maior área superficial e dispersão mais homogênea; contudo, a superioridade no algodão e a redução da carga de aditivo ainda deverão ser demonstradas experimentalmente. O principal diferencial pretendido é combinar proteção UV, rota de aplicação compatível com o setor têxtil e maior conteúdo de matérias-primas renováveis.

2. ANÁLISE DE MERCADO

Público-alvo: No mercado B2B, o público-alvo compreende indústrias têxteis, tecelagens e empresas de beneficiamento de tecidos naturais, além de marcas de vestuário voltadas à moda sustentável e a roupas funcionais com proteção UV. No mercado B2C, incluem-se consumidores que buscam vestuário para atividades ao ar livre, esportes, praia e uso profissional, especialmente trabalhadores expostos ao sol. A proposta atende à demanda por tecidos de algodão respiráveis com proteção UVA/UVB; alegações como “hipoalergênico” e “biodegradável” somente deverão ser utilizadas após ensaios específicos do produto acabado.

Concorrentes e soluções alternativas: As principais soluções concorrentes incluem acabamentos com absorvedores orgânicos, dióxido de titânio (TiO₂), óxido de zinco (ZnO) e outros sistemas nanoparticulados ou híbridos. A literatura registra diferentes rotas para elevar o UPF de tecidos de algodão, o que demonstra a existência de um campo competitivo consolidado. A proposta com LNPs diferencia-se pelo uso de um recurso renovável e pela possibilidade de valorização da lignina Kraft. Entretanto, desempenho, durabilidade, segurança, alteração de cor e custo devem ser comparados experimentalmente com controles sem tratamento e com pelo menos um acabamento UV de referência. A resistência a 20 ciclos de lavagem deve ser apresentada como meta de desenvolvimento, e não como resultado já alcançado.

Potencial de mercado: O mercado potencial abrange os segmentos de têxteis funcionais, vestuário com proteção UV e acabamentos têxteis de menor impacto ambiental. O mercado endereçável disponível (SAM) pode ser delimitado pelas indústrias que processam algodão e fibras celulósicas em regiões com polos têxteis relevantes. O mercado objetivável (SOM), em uma etapa inicial, deve concentrar-se em empresas nacionais dispostas a realizar validação piloto. Recomenda-se quantificar TAM, SAM e SOM somente com fontes de mercado identificadas, ano-base, abrangência geográfica, taxa de crescimento e metodologia de cálculo.

3. ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO

Modelo de negócios: A geração de receita poderá ocorrer por meio do licenciamento da tecnologia, após avaliação de patenteabilidade, e/ou do fornecimento da formulação concentrada do acabamento (LNPs e sistema de fixação biobaseado) para indústrias têxteis e empresas de beneficiamento. O modelo de preços deverá considerar o custo por metro quadrado de tecido tratado, a concentração de sólidos, o consumo de energia na secagem e cura, as perdas do banho e o desempenho obtido. A distribuição poderá ocorrer por venda direta ou por distribuidores de especialidades químicas para o setor têxtil. Parcerias com indústrias de celulose e papel poderão assegurar o fornecimento e a padronização da lignina, enquanto parceiros têxteis serão necessários para validação em planta piloto.

Propriedade intelectual: Até o momento, não há pedido de patente depositado. Antes da divulgação detalhada da formulação e das condições de processo, recomenda-se realizar busca de anterioridade e análise de liberdade de operação. Caso sejam identificados novidade, atividade inventiva e aplicação industrial, deverá ser definida uma estratégia de proteção intelectual em conjunto com o Núcleo de Inovação Tecnológica da instituição.

Etapas de desenvolvimento: O projeto encontra-se em fase inicial. Até o momento, foi realizada a obtenção e o isolamento da lignina a partir do licor negro do processo Kraft, seguidos de caracterização preliminar quanto ao teor de sólidos, à umidade e à rastreadibilidade do lote. As próximas etapas incluem caracterização química e estrutural da lignina, produção e caracterização das LNPs, avaliação da estabilidade coloidal, formulação do banho, aplicação em algodão e ensaios comparativos de desempenho.

TRL: A tecnologia encontra-se no TRL 2, pois o conceito e sua aplicação pretendida foram formulados, mas o acabamento ainda não foi demonstrado experimentalmente no substrato têxtil. A progressão para o TRL 3 dependerá da prova de conceito em laboratório, com produção reprodutível das LNPs, aplicação no algodão e comprovação inicial do ganho de UPF em relação aos controles.

Desafios e riscos: Os principais desafios são: (i) padronizar a nanoestruturação da lignina Kraft e controlar tamanho de partícula, distribuição e estabilidade coloidal; (ii) obter deposição uniforme e fixação durável no algodão; (iii) limitar alteração de cor, rigidez e perda de conforto; (iv) manter o desempenho após lavagens; e (v) avaliar segurança e potencial liberação de partículas no uso e na lavagem. A mitigação deverá combinar planejamento experimental, controle de pH, concentração e

reologia, seleção criteriosa do sistema de fixação e aplicação por pad-dry-cure. A meta de 20 ciclos de lavagem deve ser verificada por método normalizado, com medição do UPF antes e após os ciclos.

4. RESULTADOS ESPERADOS E IMPACTO

Impacto social e ambiental: A tecnologia tem potencial para contribuir para a economia circular ao valorizar a lignina Kraft como insumo funcional de maior valor agregado. Também poderá reduzir a dependência de determinados absorvedores UV de origem fóssil ou inorgânica. Esses benefícios, porém, deverão ser confirmados por avaliação do ciclo de vida, balanço de massa, consumo de água e energia, composição do fixador e análise dos efluentes. No âmbito social, um tecido com UPF comprovado poderá complementar outras medidas de fotoproteção para pessoas expostas à radiação solar. Não se deve afirmar prevenção de câncer de pele pelo produto sem evidência clínica e enquadramento regulatório apropriado.

Projeções financeiras: A lignina Kraft pode apresentar custo de aquisição competitivo, e o uso do processo pad-dry-cure favorece a integração à infraestrutura têxtil existente. Ainda assim, a viabilidade econômica somente poderá ser estimada após a definição da rota de nanoestruturação, do rendimento, da concentração aplicada, do custo do fixador, do consumo energético e do desempenho por área de tecido. Nos dois primeiros anos, prevê-se a consolidação da formulação e a validação em bancada e escala piloto, com apoio de fomento acadêmico ou subvenção. As metas de margem bruta e ponto de equilíbrio deverão ser apresentadas como cenários preliminares, acompanhadas de premissas, análise de sensibilidade e validação com parceiros industriais.

Visão de futuro: No curto prazo, pretende-se consolidar a rota de produção das LNPs e demonstrar a proteção UV em bancada. No médio prazo, o objetivo é otimizar a formulação, comprovar a durabilidade à lavagem e validar o processo em escala piloto. Em horizonte posterior, poderão ser investigadas propriedades adicionais associadas à lignina, como atividade antioxidante e contribuição antimicrobiana, desde que comprovadas no tecido tratado. Aplicações futuras podem incluir têxteis hospitalares, estofamentos para uso externo e materiais de embalagem de base celulósica.

5. CONCLUSÕES

Síntese: O projeto propõe o aproveitamento da lignina isolada do licor negro Kraft para a produção de nanopartículas e o desenvolvimento de um acabamento têxtil com proteção contra radiação UVA/UVB em substratos de algodão. A proposta combina matéria-prima renovável, nanoestruturação e um processo de aplicação compatível com o beneficiamento têxtil. Como a tecnologia se encontra no TRL 2, os ganhos de UPF, a durabilidade à lavagem, a segurança, a manutenção do conforto e a viabilidade econômica constituem hipóteses e metas de validação, e não resultados consolidados.

Chamada para ação: Para avançar do TRL 2 ao TRL 3 e, posteriormente, à escala piloto, o projeto busca parcerias com empresas dos setores têxtil e de celulose e papel, bem como apoio de programas de inovação. As colaborações prioritárias envolvem fornecimento padronizado de lignina, acesso a equipamentos de nanoestruturação e beneficiamento, execução de ensaios normalizados e validação em ambiente industrial. A proteção da propriedade intelectual e a definição de indicadores técnicos e econômicos devem anteceder a transferência de tecnologia.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BHUSHAN, S.; KUMAR, A.; SINGH, N.; SHEIKH, J. Functionalization of wool fabric using lignin biomolecules extracted from groundnut shells. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 142, p. 559-563, 2020. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.09.130.

MIKAME, K. et al. Natural organic ultraviolet absorbers from lignin. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, v. 9, n. 49, p. 16651-16658, 2021. DOI: 10.1021/acssuschemeng.1c05415.

SADEGHIFAR, H.; VENDITTI, R.; JUR, J.; GORGA, R. E.; PAWLAK, J. J. Cellulose-lignin biodegradable and flexible UV protection film. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, v. 5, n. 1, p. 625-631, 2017. DOI: 10.1021/acssuschemeng.6b02003.