



ACETATO DE CELULOSE: UMA BREVE REVISÃO SOBRE CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÃO EM EMBALAGENS ATIVAS E INTELIGENTES PARA ALIMENTOS

Estefani T. JANSEN^{1*}; Laura M. FONSECA²; Alvaro R. G. DIAS³; Elessandra da R. ZAVAREZE⁴

¹ Mestranda, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos/Universidade Federal de Pelotas

² Pós-doutoranda, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos/Universidade Federal de Pelotas

³ Docente, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos/Universidade Federal de Pelotas

⁴ Docente, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos/Universidade Federal de Pelotas

*E-mail para correspondência: estefani_tj@hotmail.com

RESUMO: As embalagens com sistemas inovadores ativos e inteligentes surgiram a partir de mudanças no comportamento do consumidor e de avanços na tecnologia empregada para desenvolvimento das mesmas. A incorporação de compostos bioativos em matrizes poliméricas na produção de embalagens ativas e inteligentes tem sido muito investigado. O acetato de celulose é um importante biopolímero explorado atualmente para incorporação de compostos bioativos. Embalagens ativas desenvolvidas a partir desse polissacarídeo incorporadas com moléculas bioativas podem ser capazes de proteger os alimentos da oxidação ou inibir o crescimento de bactérias e fungos, bem como as embalagens inteligentes podem informar ao consumidor o frescor de um alimento através de sistemas sensores de pH. Ainda assim, mais estudos devem ser realizados para melhor compreensão das características desse biopolímero, sua relação com os compostos bioativos e com os alimentos.

Palavras-chave: Biopolímero; Compostos bioativos; Preservação de alimentos; Polissacarídeo.

1. INTRODUÇÃO

As embalagens são sistemas projetados para atuarem como uma barreira física entre o conteúdo embalado e o meio externo. Elas são essenciais para proteger os alimentos e ainda são responsáveis por minimizar perdas e estender o prazo de validade. No entanto, novos sistemas denominados de embalagens ativas e inteligentes surgiram devido a mudanças no comportamento do consumidor, como maior preocupação em relação à segurança de alimentos e maior demanda por itens frescos, saudáveis e prontos



para consumo, além dos avanços na tecnologia empregada para o desenvolvimento de embalagens (COSTA et al., 2021; FIORUZ; LIU et al., 2021; MOHI-ALDEN; OMID, 2021; QIAN et al., 2021).

A embalagem ativa interage intencionalmente com o alimento ou ambiente interno de acondicionamento através de sistemas absorvedores ou emissores, de forma a propiciar uma vida útil mais longa ao produto alimentício. São exemplos desse tipo de embalagem o sistema absorvedor de umidade, o emissor de dióxido de carbono e a incorporação de compostos ativos com atividades antioxidante, antimicrobiana e/ou antifúngica (FIORUZ; MOHI-ALDEN; OMID, 2021; SHARMA et al., 2021). A embalagem inteligente consiste em um sistema capaz de monitorar em tempo real o alimento, detectando alterações no mesmo ou no ambiente interno e externo da embalagem, além de notificar o consumidor sobre o estado de qualidade e conservação do produto embalado. Essa comunicação é feita por meio de indicadores, como os indicadores temperatura-tempo, de maturação, de presença de gases e de frescor (BHARGAVA et al., 2020; LATOS-BROZIO; MASEK, 2020; YONG; LIU, 2020).

A incorporação de compostos bioativos nas embalagens para alimentos fornece novas funções, tornando-as ativas e/ou inteligentes. Porém, devido à instabilidade da maioria dos compostos bioativos frente a diversos fatores ambientais, se faz necessário protegê-los, bem como controlar sua liberação quando em contato com o alimento, através de tecnologias que os dispersem dentro de uma matriz polimérica (HEMMATI et al., 2021; ZANETTI et al., 2018).

Atualmente, diversos biopolímeros podem ser utilizados dentro do setor de embalagens de alimentos, incluindo proteínas, lipídios e polissacarídeos, como o acetato de celulose. Esses materiais possuem algumas vantagens frente aos polímeros sintéticos, como serem renováveis, biocompatíveis, biodegradáveis, atóxicos e ecologicamente corretos, se decompondo em um espaço de tempo relativamente curto. No entanto também existem algumas desvantagens, como maior susceptibilidade a degradação, menor resistência térmica e propriedades mecânicas e de barreira menos adequadas (BHARGAVA et al., 2020; FREITAS et al., 2020; HEMMATI et al., 2021).

Além disso, as embalagens ativas e inteligentes podem contribuir para a redução de casos de doenças transmitidas por alimentos e de *recalls* da indústria de alimentos e são um ramo da economia em expansão, pois estima-se que o mercado



desses novos tipos de embalagens atinja aproximadamente US\$ 6,28 bilhões de dólares em 2023, somente na América Latina (QIAN et al., 2021; SHARMA et al., 2021).

Assim sendo, essa revisão teve como objetivo avaliar as propriedades básicas do polissacarídeo acetato de celulose e apresentar alguns exemplos recentes de aplicação desse material incorporado com compostos bioativos no desenvolvimento de sistemas de embalagens ativas e inteligentes.

2. SÍNTSE E CARACTERÍSTICAS DO ACETATO DE CELULOSE

O monômero do acetato de celulose é constituído por duas moléculas de glicose unidas em ligação glicosídica (β -1,4). A sintetização desse biopolímero ocorre a partir da acetilação da celulose, cujo processo foi descrito pela primeira vez em 1865, por Paul Schützenberger. Essa metodologia se divide em duas etapas, sendo a primeira constituída pela extração da celulose, um dos principais constituintes da parede celular das plantas, de matérias-primas como algodão, cana-de-açúcar, casca de arroz, entre outros. A segunda etapa constitui a acetilação da celulose utilizando anidrido acético e ácido acético e o catalisador ácido sulfúrico (ULLAH et al., 2021; WSOO et al., 2020).

A acetilação pode ocorrer nos carbonos de posição 2, 3 e 6 do anel de glicose, através da substituição dos grupos hidroxilas por grupos acetil. O número médio de grupos acetil determina o grau de substituição e a nomenclatura do acetato. Para grau de substituição equivalente a 1-1,5; 2-2,5 e 2,75-3, denomina-se o mono-acetato, o di-acetato e o tri-acetato de celulose, respectivamente. Essas diferenças ocorrem principalmente pela proporção de anidrido acético utilizado na reação e o tempo de ocorrência da mesma. O grau de substituição influencia em algumas das propriedades do polímero, como solubilidade, temperatura de transição vítreia e de fusão, tempo de degradação, entre outros (KHOSHNEVISON et al., 2018; WSOO et al., 2020).

O acetato de celulose é um dos derivados mais importantes da celulose e possui como principais características ser renovável, biodegradável, biocompatível, atóxico, inodoro, pouco higroscópico, possuir adequada resistência a produtos químicos e ao calor e ter custo relativamente baixo. Ainda, possui adequada condutividade elétrica, fator importantíssimo para tornar possível sua aplicação como material de parede em processos eletrohidrodinâmicos, responsáveis pela produção de estruturas em nanoescala (SANTOS et al., 2021; TEIXEIRA et al., 2021; WSOO et al., 2020).



Outra característica importante do acetato de celulose a ser citada é a solubilidade, que depende da acetilação das moléculas. Alguns dos solventes mais convenientes para preparar soluções a partir desse polissacarídeo são acetona, diclorometano, N,N - dimetilacetamida, dimetilformamida, ácido trifluoroacético, ácido acético, hexafluoroisopropanol, triuoroetileno, clorofórmio, metanol, diclorometano ou ainda misturas desses solventes (KHOSHNEVISAN et al., 2018; SOUZA et al., 2021; WSOO et al., 2020).

3. ACETATO DE CELULOSE E SUA APLICAÇÃO EM EMBALAGENS DE ALIMENTOS

Recentes estudos são relatados na literatura sobre o desenvolvimento de embalagens ativas e inteligentes destinadas a conter alimentos empregando o acetato de celulose como biopolímero e compostos bioativos incorporados (Tabela 1).

Tabela 1 – Embalagens ativas e inteligentes com acetato de celulose incorporadas de compostos bioativos produzidas por diferentes técnicas

Embalagem	Técnica	Composto bioativo	Referência
Ativa Antioxidante	<i>Casting</i>	Norbixina Licopeno Zeaxantina	Assis et al., 2021
Ativa Antioxidante	Membrana porosa	Curcumina	Baldino; Cardea; Reverchon, 2017
Ativa Antimicrobiana	<i>Casting</i>	Alginato de sódio Carragena	Rajeswari et al., 2020
Ativa Antimicrobiana	<i>Casting</i>	Óleo essencial de pimenta rosa	Dannenberg et al., 2017
Ativa Antimicrobiana	<i>Electrospinning</i>	Óleo essencial de Murta-limão	Beikzadeh et al., 2020
Ativa Antifúngica	<i>Casting</i>	Óleo essencial de orégano	Pola et al., 2016
Inteligente Sensor de pH	<i>Casting</i>	Extrato de repolho roxo	Freitas et al., 2020
Inteligente Sensor de pH	<i>Electrospinning</i>	Alizarina	Aghaei et al., 2018



Diversas metodologias podem ser utilizadas para produzir essas embalagens. A mais utilizada e também de mais simples execução é a técnica de *casting* para produção de filmes biodegradáveis, na qual o(s) polímero(s) e o(s) composto(s) bioativo(s) são misturados em solução e vertidos sobre um molde para evaporação ambiente ou forçada (estufa) do solvente. As membranas porosas são produzidas de modo semelhante, porém após a mistura ser disposta no molde, o conjunto é imerso em solvente supercrítico, o qual carrega o solvente da solução, formando uma fase polimérica sólida e sem solvente líquido. A técnica de *electrospinning* é empregada para produzir, a partir de uma solução polimérica com compostos bioativos, fibras em escala nanométrica com características únicas, como alta área superficial em relação ao volume e alta porosidade, além da vantagem de utilizar temperatura ambiente em seu processo (AGHAEI et al., 2018; BALDINO; CARDEA; REVERCHON, 2017; FREITAS et al., 2020; LIU et al., 2021).

Os compostos bioativos incorporados fornecem diferentes características à embalagem ativa ou inteligente. Os carotenóides, licopeno, norbixina e zeaxantina, extraídos de urucum, tomate e gojiberry, respectivamente, são agentes antioxidantes que apresentam efeito protetor contra a oxidação dos alimentos. Filmes utilizando separadamente esses compostos tendo como polímero o acetato de celulose foram desenvolvidos para proteger a vitamina B₂, encontrada em leite e seus derivados, da foto-oxidação (ASSIS et al., 2021). Membranas porosas de acetato de celulose com curcumina também são potenciais embalagens com atividade antioxidante, pois, segundo estudo, mantiveram mais de 80% de sua atividade inicial frente ao radical DPPH (1,1-difenil-2-picrihidrazil) após repetidos testes de lixiviação do agente antioxidante na mesma membrana (BALDINO; CARDEA; REVERCHON, 2017).

Embalagens ativas antimicrobianas e antifúngicas são capazes de realizar o controle de microrganismos deteriorantes ou patógenos, inibindo ou retardando o crescimento dos mesmos. Filmes de acetato de celulose com alginato de sódio e carregena, extraídos de algas marinhas e dispersos individualmente na matriz polimérica, foram capazes de inibir o crescimento das bactérias *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e *Pseudomonas syringae* (RAJESWARI et al., 2020). O filme desse mesmo biopolímero incorporado com óleo essencial de pimenta rosa, foi ativo contra as bactérias gram-positivas *S. aureus* e *Listeria monocytogenes*, além da gram-negativa *E. coli* (efeito menos pronunciado), demonstrando uma assimetria de ação em



XVI ERSCTA

XVI Encontro Regional Sul de Ciência e
Tecnologia de Alimentos



relação aos grupos de bactérias (DANNENBERG et al., 2017). Quando óleo essencial de orégano foi incorporado ao filme polimérico de acetato de celulose, o mesmo adquiriu efeito antifúngico, sendo capaz de inibir o crescimento dos microrganismos *Alternaria alternata*, *Rhizopus stolonifer* e *Geotrichum candidum* (POLA et al., 2016).

Embalagens antimicrobianas também podem ser desenvolvidas a partir de fibras obtidas pela técnica de *electrospinning*, como as fibras ultrafinas de acetato de celulose incorporadas com óleo essencial de Murta-limão, que apresentaram atividade frente as bactérias *S. aureus* e *E. coli* (BEIKZADEH et al., 2020). Essa mesma técnica foi aplicada para estudo de embalagens inteligentes, a exemplo do indicador de frescor constituído por fibras ultrafinas de acetato de celulose e alizarina. Essas fibras foram utilizadas como um sensor colorimétrico de pH, capaz de avaliar o estado de conservação de peixes Truta-arco-íris e informar esse dado ao consumidor devido as transições de cor da alizarina em função do pH do meio, o qual se altera em virtude do crescimento de microrganismos no peixe que produzem metabólitos básicos (AGHAEI et al., 2018). De mesma forma, filmes inteligentes obtidos por *casting* a partir de acetato de celulose e extrato de repolho roxo, apresentaram capacidade de detectar a alteração do pH após sua exposição a uma atmosfera de amônia volátil, promovendo mudanças de cor no filme devido a presença das antocianinas (FREITAS et al., 2020).

4. CONCLUSÃO

As embalagens ativas e inteligentes são temas importantes de pesquisa dentro do setor de alimentos. O acetato de celulose, além de ser um polímero renovável e compatível com alimentos, possui diversas propriedades que permitem seu largo uso no desenvolvimento desses inovadores tipos de embalagens obtidas por variadas técnicas. Inúmeros compostos bioativos podem ser incorporados nessa matriz polimérica, de modo a conferir a mesma atributos como atividade antioxidante, inibição no crescimento de bactérias e fungos, capacidade de monitoramento de pH, entre outros.

No entanto, mais estudos são necessários para compreensão das propriedades do acetato de celulose e otimização dos parâmetros necessários para seu emprego em embalagens de alimentos, assim como para proporcionar maior conhecimento sobre a interação dessa matriz polimérica com os compostos ativos, o tempo e os mecanismos de liberação desses quando dispersos na solução polimérica de acetato de celulose e durante o contato com o produto embalado.



XVI ERSCTA

XVI Encontro Regional Sul de Ciência e
Tecnologia de Alimentos



REFERÊNCIAS

- AGHAEI, Z.; EMADZADEH, B.; GHORANI, B.; KADKHODAEE, R. Cellulose acetate nanofibers containing alizarin as a halochromic sensor for the qualitative assessment of rainbow Trout fish spoilage, **Food Bioprocess Technology**, v. 11, p. 1087–1095, 2018.
- ASSIS, R.; PAGNO, C.; STOLL, L.; RIOS, P.; RIOS, A.; OLIVERA, F. Active food packaging of cellulose acetate: storage stability, protective effect on oxidation of riboflavin and release in food stimulants, **Food Chemistry**, v. 349, 129140, 2021.
- BALDINO, L.; CARDEA, S.; REVERCHON, E. Biodegradable membranes loaded with curcumin to be used as engineered independent devices in active packaging, **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 71, p. 518 – 526, 2017.
- BEIKZADEH, S.; AKBARINEJAD, A.; SWIFT, S.; PERERA, J.; KILMARTIN, P.; TRAVAS-SEJDIC, J. Cellulose acetate electrospun nanofibers encapsulating Lemon Myrtle essential oil as active agent with potent and sustainable antimicrobial activity, **Reactive and Functional Polymers**, v. 157, 104769, 2020.
- BHARGAVA, N.; SHARANAGAT, V.; MOR, R.; KUMAR, K. Active and intelligent biodegradable packaging films using food and food waste-derived bioactive compounds: A review, **Trends in Food Science & Technology**, v.105, p. 385 – 401, 2020.
- COSTA, S.; FERREIRA, D.; TEIXEIRA, P.; BALLESTEROS, L.; TEIXEIRA, J.; FANGUEIRO, R. Active natural-based films for food packaging applications: the combined effect of chitosan and nanocellulose, **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 117, p. 241 – 251, 2021.
- DANNENBERG, G.; FUNCK, G.; CRUXEN, C.; MARQUES, J.; SILVA, W.; FIORENTINI, Â. Essential oil from pink pepper as an antimicrobial component in cellulose acetate film: potential for application as active packaging for sliced cheese, **LWT – Food Science and Technology**, v. 81, p. 314 – 318, 2017.
- FIROUZ, M.; MOHI-ALDEN, K.; OMID, M. A critical review on intelligent and active packaging in the food industry: research and development, **Food Research International**, v. 141, 110113, 2021.
- FREITAS, P.; SILVA, R.; OLIVEIRA, T.; SOARES, R.; JUNIOR, N.; MORAES, A.; PIRES, A.; SOARES, N. Development and characterization of intelligent cellulose acetate-based films using red cabbage extract for visual detection of volatile bases, **LWT – Food Science and Technology**, v. 132, 109780, 2020.
- HEMMATI, F.; BAHRAMI, A.; ESFANJANI, A.; HOSSEINI, H.; MCCLEMENTES, D.; WILLIAMS, L. Electrospun antimicrobial materials: Advanced packaging materials for food applications, **Trends in Food Science & Technology**, v.111, p. 520 – 533, 2021.
- KHOSHNEVISON, K.; MALEKI, H.; SAMADIAN, H.; SHAHSAVARI, S.; SARRAFZADEH, M.; LARIJANI, B.; DORKOOSH, F.; HAGHPANAH, V.; KHORRAMIZADEH, M. Cellulose acetate electrospun nanofibers for drug delivery systems: applications and recent advances, **Carbohydrate Polymers**, v. 198, p. 131 – 141, 2018.



LATOS-BROZIO, M.; MASEK, A. The application of natural food colorants as indicator substances in intelligent biodegradable packaging materials, **Food and Chemical Toxicology**, v. 135, 110975, 2020.

LIU, Y.; AHMED, S.; SAMEEN, D.; WANG, Y.; LU, R.; DAI, J.; LI, S.; QIN, W. A review of cellulose and its derivatives in biopolymer-based food packaging application, **Trends in Food Science & Technology**, v. 112, p. 532 –546, 2021.

POLA, C.; MEDEIROS, E.; PEREIRA, O.; SOUZA, V.; OTONI, C.; CAMILLOTO, G.; SOARES, N. Cellulose acetate active films incorporated with oregano (*Origanum vulgare*) essential oil and organophilic montmorillonite clay control the growth of phytopathogenic fungi, **Food Packaging and Shelf Life**, v. 26, p. 69 -78, 2016.

QIAN, M.; LIU, D.; ZHANG, X.; YIN, Z.; ISMAIL, B.; YE, X.; GUO, M. A review of active packaging in bakery products: applications and future trends, **Trends in Food Science & Technology**, v. 114, p. 459 – 471, 2021.

RAJESWARI, A.; CHRISTY, E.; SWATHI, E.; PIUS, A. Fabrication of improved cellulose acetate-based biodegradable films for food packaging applications, **Environmental Chemistry and Ecotoxicology**, v. 2, p. 107 – 114, 2020.

SANTOS, A.; SANTOS, F.; FREITAS, K.; PIMENTA, L.; ANDRADE, L.; MARINHO; T.; AVELAR, G.; SILVA, A.; FERREIRA, R. Cellulose acetate nanofibers loaded with crude annatto extract: Preparation, characterization, and in vivo evaluation for potential wound healing applications, **Materials Science and Engineering: C**, v. 118, 111322, 2021.

SHARMA, S.; BARKAUSKAITE, S.; JAISWAL, A. K.; JAISWAL, S. Essential oils as additives in active food packaging, **Food Chemistry**, v. 343, 128403, 2021.

SOUZA, E.; KRINGEL, D.; DIAS, A.; ZAVAREZE, E. Polysaccharides as wall material for the encapsulation of essential oils by electrospun technique, **Carbohydrate Polymers**, v. 265, 118068, 2021.

TEIXEIRA, S.; SILVA, R.; OLIVEIRA, T.; STRINGHETA, P.; PINTO, M.; SOARES, N. Glycerol and triethyl citrate plasticizer effects on molecular, thermal, mechanical, and barrier properties of cellulose acetate films, **Food Bioscience**, v. 42, 101202, 2021.

ULLAH, A.; SAITO, Y.; ULLAH, S.; HAIDER, K.; NAWAZ, H.; DUY-NAM, P.; KHARAGHANI, D.; KIM, I. S. Bioactive sambong oil-loaded electrospun cellulose acetate nanofibers: Preparation, characterization, and in-vitro biocompatibility, **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 166, p. 1009-10211, 2021.

WSOO, M. A.; SHAHIRA, S.; BOHARIA, S. P. M.; NAYANC, N. H. M.; RAZAK, S. I. A. A review on the properties of electrospun cellulose acetate and its application in drug delivery systems: a new perspective, **Carbohydrate Research**, v. 491, 107978, 2020.

YONG, H.; LIU, J. Recent advances in the preparation, physical and functional properties, and applications of anthocyanins-based active and intelligent packaging films, **Food Packaging and Shelf Life**, v. 26, 100550, 2020.

ZANETTI, M.; CAMIEL, T.; DALCANTON, F.; ANJOS, R.; RIELLA, H.; ARAÚJO, P.; OLIVEIRA, D.; FIORI, M. Use of encapsulated natural compounds as antimicrobial additives in food packaging: a brief review, **Trends in Food Science & Technology**, v. 81, p. 51 – 60, 2018.