

AVALIAÇÃO DO EFEITO DE FILMES COMESTÍVEIS DE QUITOSANA-CURCUMINA NO TEOR DE SÓLIDOS SOLÚVEIS DE MORANGOS

HENRIQUE SOARES SILVA, RAFAEL DE OLIVEIRA PEDRO

Palavras-chave: Qualidade pós-colheita; Irradiação; Biofilme.

INTRODUÇÃO

A conservação pós-colheita de morangos é um importante desafio devido à sua perecibilidade, suscetibilidade a danos mecânicos, ataques fúngicos e perda rápida de qualidade físico-química. Revestimentos comestíveis surgem como uma tecnologia promissora para reduzir tais perdas, atuando como barreira seletiva à umidade, oxigênio e dióxido de carbono, além de inibir o crescimento microbiano. Dentre os biopolímeros utilizados, a quitosana destaca-se por sua ação antimicrobiana intrínseca, biocompatibilidade e capacidade de formar filmes resistentes (Such et al., 2023).

Para potencializar ainda mais a proteção, a técnica de Inativação Fotodinâmica (IFD) apresenta-se como uma alternativa inovadora e não térmica. A IFD baseia-se na aplicação de um fotossensibilizador (FS) que, ao ser ativado por luz em um comprimento de onda específico, gera Espécies Reativas de Oxigênio (ERO), causando danos oxidativos letais a microrganismos (Yu et al., 2022). A curcumina, pigmento natural extraído do açafrão, é um FS altamente eficaz, e sua incorporação em matrizes de quitosana pode resultar em um sistema de liberação e ativação controlada.

Diante desse contexto, o objetivo principal deste estudo foi desenvolver, caracterizar e avaliar a eficácia de filmes comestíveis à base de quitosana incorporados com curcumina e submetidos à IFD na conservação de morangos, com foco específico no estudo da variação do teor de sólidos solúveis (°Brix) como um indicador-chave da manutenção da qualidade e do retardamento do processo de senescência.

MATERIAL E MÉTODOS

A quitosana utilizada foi caracterizada quanto à sua estrutura e propriedades químicas por meio de titulação potenciométrica para determinação do grau de desacetilação e espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). Os morangos foram sanitizados por imersão em solução de hipoclorito de sódio (2,5% v/v) por 2 minutos, seguido de enxágue em água destilada. Em seguida, as frutas foram revestidas por imersão nas soluções filmogênicas por 2 minutos, seguidas por secagem do excesso.

Após o revestimento, as amostras foram divididas em dois grupos experimentais: não irradiado e irradiado (submetido à luz LED azul, $\lambda = 460$ nm, por 15 min). Todos os grupos foram armazenados em câmara climatizada a 25°C por sete dias. A perda de massa foi monitorada ao longo de 7 dias e a análise estatística da perda percentual de massa foi realizada mediante ANOVA de medidas repetidas com interação significativa Tratamento $\times$ Tempo ($p < 0,001$), seguida por teste post-hoc de Tukey para comparações múltiplas em cada tempo específico.

Ao final do período de armazenamento, o teor de sólidos solúveis (°Brix) foi determinado por refratometria digital. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA two-way), considerando o tratamento e o tempo como fatores, com significância estatística definida em $p < 0,05$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

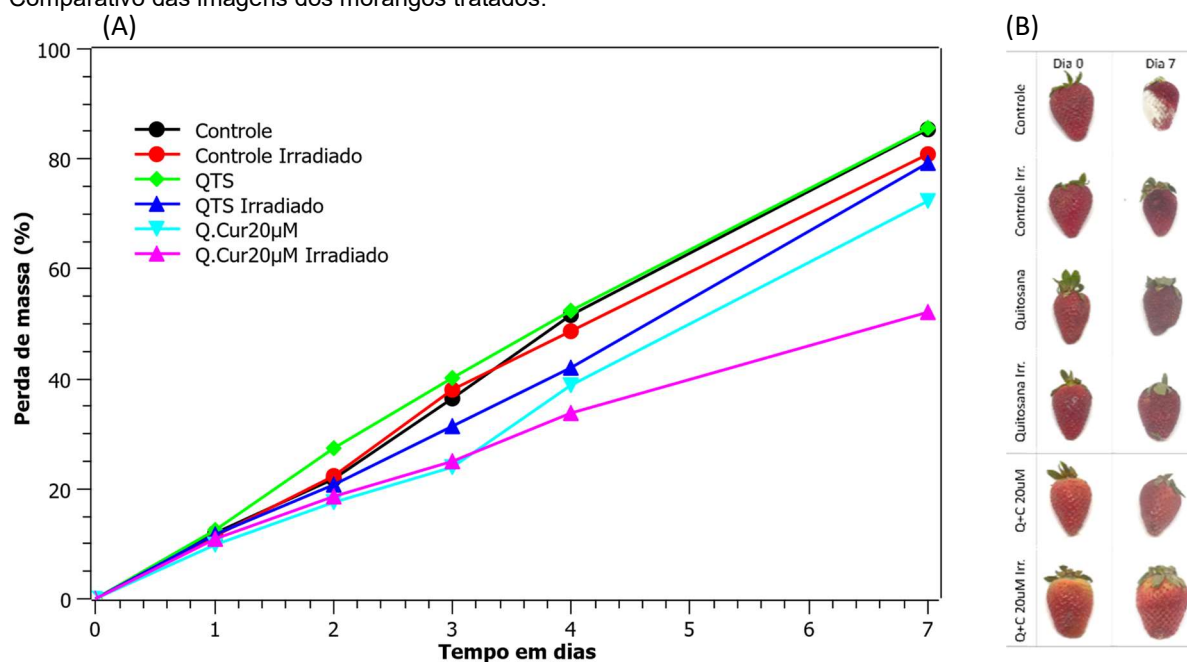
O grau de desacetilação (GD) da quitosana foi determinado por titulação potenciométrica (GD = 95.3%), valor considerado adequado para a formação de filmes. Foram formulados cinco filmes com distintas concentrações de curcumina: QTS: Filme de quitosana pura (controle); Q.Cur2.5 μ M: Quitosana com 2.5 μ M de curcumina; Q.Cur5 μ M: Quitosana com 5 μ M de curcumina; Q.Cur10 μ M: Quitosana com 10 μ M de curcumina; Q.Cur20 μ M: Quitosana com 20 μ M de curcumina.

Os filmes foram caracterizados quanto às suas propriedades físico-químicas. Com base nos resultados da caracterização, o filme Q.Cur20 μ M foi selecionado para os ensaios subsequentes de aplicação em morangos, a fim de avaliar sua eficácia protetora. Os morangos foram distribuídos em um delineamento fatorial 3 $\times$ 2,

compreendendo três tratamentos de revestimento (Controle, QTS, Q.Cur20 μ M) e duas condições de irradiação (sem e com luz LED azul, λ = 460 nm, 15 min).

Conforme ilustrado na Figura 1, os frutos do grupo Controle (com e sem irradiação) e quitosana (QTS com e sem irradiação) apresentaram a maior perda de massa ao final do armazenamento, acompanhada de evidente crescimento fúngico após 7 dias. Os revestimentos à base de quitosana e curcumina reduziram significativamente a perda de massa, com o melhor desempenho observado no tratamento Q.Cur20 μ M irradiado, que preservou de forma mais eficiente a massa e a integridade visual dos frutos.

Figura 1 – (A) Dados da perda de massa de morangos tratados com filmes de quitosana e curcumina. (B) Comparativo das imagens dos morangos tratados.



Os dados de perda de massa ao longo do dia estão detalhados na Tabela 1. O tratamento Q.Cur20 μ M Irradiado demonstra maior eficiência, mantendo-se como estatisticamente superior em todos os tempos analisados. No dia 7, sua perda de massa (52,10%) foi aproximadamente 30% menor que o controle (85,43%), comprovando o efeito sinérgico entre quitosana, curcumina e irradiação.

Os valores médios de °Brix para os morangos tratados estão apresentados na Tabela 2. A análise estatística revelou uma interação significativa entre o tipo de tratamento e a irradiação (p = 0,036), indicando que o efeito da luz depende do revestimento aplicado. Para o grupo controle, a irradiação resultou em um aumento

não significativo de 17,1% no °Brix ($p = 0,665$), consistente com uma maior perda de massa observada nesse grupo (Figura 1), o que pode concentrar os sólidos solúveis.

O tratamento com quitosana pura (QTS) sob irradiação elevou o °Brix em 130,4% ($p = 0,073$), sugerindo um potencial estímulo ao metabolismo do fruto que pode acelerar o amadurecimento ou a degradação.

Tabela 1 – Valores representam média $\pm$ desvio padrão ($n = 5$) da perda de massa percentual dos morangos ao longo do tempo.

Tratamento	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 7
Controle	11.93 $\pm$ 3.07 ^{cd}	21.81 $\pm$ 5.82 ^{cd}	36.48 $\pm$ 8.61 ^{de}	51.70 $\pm$ 10.92 ^e	85.43 $\pm$ 8.25 ^e
Controle Irradiado	11.48 $\pm$ 3.24 ^{bcd}	22.20 $\pm$ 5.84 ^{bcd}	38.07 $\pm$ 7.56 ^{cd}	48.72 $\pm$ 8.47 ^{cd}	80.91 $\pm$ 9.80 ^{cd}
QTS	12.38 $\pm$ 2.89 ^{de}	27.29 $\pm$ 8.07 ^d	40.03 $\pm$ 13.00 ^e	52.48 $\pm$ 16.00 ^{de}	85.53 $\pm$ 7.41 ^{de}
QTS Irradiado	11.58 $\pm$ 2.06 ^{abc}	20.73 $\pm$ 5.42 ^{abc}	31.44 $\pm$ 8.14 ^{bc}	42.14 $\pm$ 9.98 ^{bc}	79.37 $\pm$ 3.82 ^{bc}
Q.Cur20 μ M	9.76 $\pm$ 1.23 ^{ab}	17.66 $\pm$ 1.29 ^{ab}	24.04 $\pm$ 2.84 ^{ab}	38.85 $\pm$ 11.63 ^b	72.28 $\pm$ 3.72 ^b
Q.Cur20 μ M Irradiado	10.84 $\pm$ 3.64 ^a	18.69 $\pm$ 4.78 ^a	24.87 $\pm$ 5.18 ^a	33.66 $\pm$ 5.36 ^a	52.10 $\pm$ 5.98 ^a

Tratamentos com a mesma letra dentro de cada coluna não diferem significativamente entre si ($p > 0.05$, teste de Tukey). Letra "a": Melhor desempenho (menor perda de massa). Letras subsequentes: Desempenho progressivamente pior

Em contraste, este tratamento reduziu o °Brix em 49,0% quando irradiado, indicando um possível efeito protetor da curcumina contra o estresse oxidativo induzido pela luz, preservando assim o estado metabólico original do morango.

Tabela 2 – Médias de °Brix por condição experimental.

Tratamento	Sem Irradiação	Com Irradiação	$\Delta(\%)$	Estatística
Controle	5,74 $\pm$ 2,60	6,72 $\pm$ 3,82	+17,1%	$p = 0,665$
QTS	3,22 $\pm$ 3,82	7,42 $\pm$ 2,26	+130,4%	$p = 0,073$
Q.Cur20 μ M	5,18 $\pm$ 2,06	2,64 $\pm$ 1,47	-49,0%	$p = 0,267$
Txl	-	-	-	$p = 0,036^*$

Interação tratamento $\times$ irradiação significativa (ANOVA two-way)

Ao contrário do observado no tratamento com quitosana pura irradiada, que provocou um aumento drástico no °Brix possivelmente devido à severa desidratação e estresse metabólico, a redução significativa do °Brix nos frutos tratados com Q.Cur20 μ M irradiado indica que a curcumina fotoativada exerceu um efeito fotoprotetor e antioxidante, estabilizando o metabolismo do fruto e preservando seu conteúdo hídrico, resultando em uma qualidade pós-colheita superior.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A quitosana caracterizada apresentou alto grau de desacetilação, confirmando sua adequação para a produção de filmes comestíveis. O filme Q.Cur20 μ M associado à inativação fotodinâmica destacou-se na conservação de morangos, reduzindo perda de massa, inibindo fungos e preservando a qualidade visual dos frutos. O teor de sólidos solúveis evidenciou o efeito fotoprotetor da curcumina, que atenuou o estresse oxidativo e estabilizou o metabolismo dos frutos.

Portanto, conclui-se que a combinação sinérgica entre quitosana, curcumina e IFD atua como uma barreira física eficaz, reduzindo a degradação pós-colheita dos morangos. Esta estratégia mostrou-se promissora para prolongar a vida útil de morangos, mantendo seus atributos de qualidade de forma mais eficiente que os tratamentos convencionais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG (Processos APQ-03402-22, BIP-00196-24 e APQ-04952-24) e à Universidade do Estado de Minas Gerais – Unidade Ituiutaba pelo apoio institucional e financeiro ao desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

SUCH, Aleksandra *et al.* Edible chitosan-alginate based coatings enriched with turmeric and oregano additives: Formulation, antimicrobial and non-cytotoxic properties. Food chemistry, v. 426, p. 136662, nov. 2023.

YU, Xinpeng *et al.* Recent advances in antimicrobial applications of curcumin-mediated photodynamic inactivation in foods. Food Control, v. 138, p. 108986, 2022.

AUTORES

Henrique Soares Silva: Discente graduando do curso de Licenciatura em Química na Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG-Ituiutaba). E-mail: henrique.1599338@discente.uemg.br

Rafael de Oliveira Pedro: Docente da Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG) Unidade Ituiutaba. Bacharel em Química Ambiental e Mestre em Química pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - IBILCE/UNESP, Doutor em Ciências (Físico-Química) pelo Instituto de Química de São Carlos (IQSC/USP). E-mail: rafael.pedro@uemg.br