



## FILMES DE AMIDO COM ÓLEO ESSENCIAL DE CRAVO: UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA EMBALAGENS ATIVAS

Mendes, V.S.<sup>1</sup>; Rosa, D.S.<sup>1</sup>; Santos, P.H.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas (CECS),  
Universidade Federal do ABC (UFABC). Av. dos Estados, 5001 - Bangú,  
Santo André - SP, 09280-560

v.mendes@aluno.ufabc.edu.br (Mendes, V.S.)\*, henrique.p@ufabc.edu.br  
(Santos, P.H.), derval.rosa@ufabc.edu.br (Rosa, D.S.)

\*Autor para correspondência

### RESUMO

A crescente demanda por materiais renováveis impulsiona a substituição de embalagens plásticas no setor alimentício. Este estudo desenvolveu embalagens ativas à base de amido modificado, utilizando emulsões de Pickering com óleo essencial de cravo-folha (*Eugenia caryophyllus*) em concentrações de 10 e 20%, visando propriedades antioxidantes e antibacterianas. Os filmes foram caracterizados quanto à espessura, solubilidade em água, propriedades mecânicas e atividade antioxidante. As emulsões foram avaliadas quanto à estabilidade, tamanho de partícula e cargas eletrostáticas. Os resultados mostraram que os filmes tratados com Ultraturrax (UT) apresentaram maior estabilidade antioxidante (70% após 28 dias), melhor resistência mecânica e estabilidade em temperaturas mais baixas (4°C). Já os filmes tratados com ultrassom (US) apresentaram maior degradação em temperaturas mais altas (25°C). Em conclusão, os filmes com UT destacaram-se como promissores substitutos de embalagens plásticas, proporcionando boa resistência e conservação, demonstrando seu potencial para aplicações no setor de alimentos com benefícios ambientais.

**Palavras-chave:** Emulsão de Pickering, *Eugenia caryophyllus*, biopolímeros, conservação de alimentos.

## INTRODUÇÃO

A indústria de embalagens gera diversos resíduos químicos despejados no meio ambiente e meio urbano, impactando diretamente a fauna e a flora por um ambiente no qual natureza e indústria não conseguem coexistir. No âmbito nacional, a indústria de embalagens chegou a ser avaliada em US\$ 24,6 milhões, respondendo por 1,6% do produto interno bruto. Desse total, constituíram 22% em massa e 25% em valor [1]. Por outro lado, a crescente preocupação com os impactos ambientais negativos causados pelos plásticos tem impulsionado pesquisadores a buscarem alternativas de embalagens que utilizem fontes renováveis como matéria-prima [2]. Como alternativa ao uso dos plásticos, os polímeros naturais como o amido surgem como promissores materiais renováveis.

O amido é um polissacarídeo de simples obtenção, de fácil manipulação, abundante, atóxico e de baixo custo. No entanto, apresenta algumas características indesejáveis, como o caráter hidrofílico, alta solubilidade em água, e propriedades mecânicas deficientes, o que acaba limitando-o para aplicação, em especial, pela indústria de alimentos em seus diversos âmbitos. Desta forma, algumas técnicas de modificação do amido têm sido desenvolvidas com vistas a ampliar a aplicação do amido. Uma das modificações mais bem sucedidas se dá com a adição de anidrido octenil succínico (OSA), o que envolve a substituição parcial de grupos hidroxila por grupos hidrofóbicos, proporcionando um caráter anfifílico ao amido, tornando-o com um potencial agente encapsulante e estabilizante em emulsões de óleo em água[3].

Todavia, uma vez que os consumidores estão cada vez mais atentos à segurança e ao teor de aditivos em alimentos, dando preferência a produtos sem uso de conservantes e com uma vida útil aceitável[4], não basta a embalagem fornecer apenas proteção física; ela também precisa prover a manutenção ou até a melhoria da qualidade do alimento fresco. Visando o desenvolvimento de embalagens que sejam não apenas ambientalmente amigáveis, mas, também, que proporcionem uma segurança mecânica, química e microbiológica, especialmente aos alimentos frescos.

Embalagem ativa é uma abordagem inovadora utilizada para prolongar a vida útil de alimentos perecíveis, bem como manter sua qualidade em termos físicos, químicos e microbiológicos. Ao interagir com o produto, a embalagem ativa tem o potencial de substituir a necessidade de aditivos aos alimentos, e eliminar processos

industriais que possam introduzir microrganismos patogênicos no produto. Essa tecnologia oferece benefícios significativos para a indústria alimentícia, permitindo uma maior eficiência na preservação e proteção dos alimentos[5]. Como agentes de proteção aos alimentos, os óleos essenciais (OE) vêm ganhando cada vez atenção, uma vez que, em razão da incorporação de seus compostos ativos antioxidantes e antimicrobianos, eles são capazes de proporcionar qualidade sensorial e segurança aos alimentos [2].

Desta forma, este estudo visa o desenvolvimento de um filme biodegradável e ativo pelo método solution casting. Para tal, serão primeiramente produzidas emulsões estabilizadas por partículas sólidas (emulsões de Pickering) utilizando amido modificado e OEC. Tais emulsões, em seguida, serão inseridas nos filmes, formando embalagens ativas passíveis de aplicação na indústria de alimentos com intuito de promover a manutenção da qualidade do alimento fresco.

## **OBJETIVO**

Produzir filmes de amido modificado (OSA) com o óleo essencial de cravo para possível aplicação na conservação de alimentos frescos.

## **METODOLOGIA**

### **Materiais**

Amido modificado CAPSUL® (Ingredion, Westchesterm IL, EUA), glicerol (CAAL, Sta. Cecília, São Paulo/SP), e óleo essencial de cravo (Ferquima, Várzea Grande Paulista, SP, Brasil).

### **Preparo das emulsões de Pickering**

Para a elaboração da emulsão, serão adotadas concentrações de 80 e 90% de fase aquosa contendo o amido modificado 3% (3g, w/w), juntamente com 10%<sub>v/v</sub> (45 mL de amido diluído + 5 mL de óleo de cravo) e 20%<sub>v/v</sub> (40 mL de amido diluído + 10 mL de óleo de cravo), de fase oleosa, respectivamente, contendo OEC. As misturas serão homogeneizadas em Ultra Turrax T25 (IKA, Königswinter, Alemanha) a 16000 rpm por 5 min ou Ultrassom de Alta Intensidade (VC 505/VC 750, Vibracell, Sonics) com amplitude de 50% e pulso constante por 5 min.

### **Preparo dos filmes**

Preparação de filmes ativos à base de amido foram preparados pelo método de *casting* [6] tendo 9 g de amido foram dispersos em 450 ml de água destilada e

2,75 g de glicerol. A mistura foi agitada a 800 rpm por 5 min no agitador mecânico, posteriormente agitados em agitador magnético continuamente a 80 °C para atingir a gelatinização do amido. Ademais, ao atingir a temperatura, a mistura foi agitada por mais 45 minutos. Os filmes de biopolímero foram preparados pela mistura do amido e emulsão de pickering; sendo nas concentrações de 1%, 3% e 5% em massa. Deste modo, ao adicionar a Emulsão, a mistura foi colocada no Ultrassom por 3 min, e a solução resultante foi moldada em placas de petri e seca em uma estufa a 60 °C por 12 h.

### **Caracterizações das emulsões de Pickering:**

#### **Estabilidade da emulsão: eficiência**

A estabilidade em termos de eficiência será aferida visualmente após 0, 7, 14, 21 e 28 dias, através da Equação 1.

$$Eficiência(\%) = \frac{h_{rh} - h_{ri}}{h_t} \quad (1)$$

Onde:  $h_{rh}$  = altura da região homogênea (cm);  $h_{ri}$  = altura da região de instabilidade (cm);  $h_t$  = altura total da mistura.

#### **Estabilidade da emulsão: tamanho de partícula**

Em suma, alíquotas de 0,01% (v/v) de emulsão em água destilada serão submetidas à medição do tamanho médio de partícula através da técnica de dispersão dinâmica de luz (DLS) com ângulo de dispersão de 90°, utilizando Zetasizer Nano – ZS (Malvern Panalytical Ltd., Malvern, Reino Unido)[7].

#### **Estabilidade da emulsão: potencial zeta**

O potencial zeta foi determinado através do equipamento descrito no item anterior, sendo o preparo da amostra o mesmo reportado no subitem anterior.

### **Caracterizações dos filmes:**

#### **Atividade antifúngica do filme**

A atividade antifúngica do filme será aferida pelo método de difusão em disco[8] , com modificações. As culturas de (concentração padrão de  $1,5 \times 10^8$  UFC.mL<sup>-1</sup>) do Fungo Botrytis Cinerra serão cultivadas nas Placas Petri e, em seguida, os filmes serão então cortados em círculo com diâmetro de 0,8 mm e inseridos nas Placas Petri com 4 filmes circulares e com o ágar centralizado, prosseguindo à incubação das mesmas a 37 °C por 24 h.

Utilizou-se 16 amostras em duplicata, as quais tiveram 6 formulações de filmes e o puro como controle, sendo calculado o Índice de Velocidade de Crescimento (IVCM)[9] . A avaliação do crescimento micelial foi realizada, a cada 48h, durante 6 dias, pela medição do diâmetro das colônias nos dois sentidos perpendiculares entre si com o aplicativo Image J[10] . O índice de velocidade de crescimento micelial foi calculado conforme a fórmula:

$$IVCM = \frac{\Sigma(D-DA)}{N} \quad (2)$$

Onde:  $D$  = diâmetro médio atual da colônia (cm);  $DA$  = diâmetro médio da colônia do dia anterior (cm);  $N$  = número de dias após a inoculação (dias).

Outrossim, teve análise Percentual de inibição(P.I.) [11], pela seguinte equação:

$$P.I. (\%) = \frac{D1-D2}{D1} \times 100 \quad (3)$$

Onde  $D1$  é o diâmetro da colônia fúngica controlada e  $D2$  é o diâmetro da colônia fúngica ameaçada.

#### **Atividade antioxidante do filme**

A atividade antioxidante dos filmes foi realizada pelo método DPPH[12]. Em suma, 3 mL da solução de filme em metanol será misturada com uma solução metanólica de 1 mM do radical DPPH (2, 2- difenil – 1- picrilhidrazila). A mistura será então agitada e armazenada no escuro por 30 min antes de ser lida em espectrofotômetro a 517 nm. A porcentagem de captura do radical livre oxidante DPPH será obtida pela seguinte equação

$$DPPH(\%) = \frac{([Abs]_{DPPH} - [Abs]_{extrato})}{[Abs]_{DPPH}} [Abs] \times 100 \quad (4)$$

Onde:  $[Abs]$  : absorbância da solução de DPPH;  $[Abs]_{extrato}$  : absorbância da solução com o filme.

#### **Medidas de ângulo de contato**

Para avaliar a molhabilidade [13] , as medidas de ângulo de contato realizadas em triplicata utilizaram um tensiômetro (SEO) modelo Phoenix 300 (Kromtech Alliance Corp., Londres, Reino Unido), com sistema trifásico ar/água/amostra para determinação do ângulo-água na amostra pelo método de Young-Laplace. O método utilizado foi o de microgota (4 ml), do tipo sésil, com monitoramento temporal de 5 minutos.

## Espectroscopia Raman de transformada de Fourier (FT-Raman)

Os filmes foram analisados com um FT-Raman – MultiRaman, Bruker Optics, com um comprimento de onda de 1064 nm e laser de potência de 150W. A aquisição de dados foi realizada em uma faixa de 500-4000  $\text{cm}^{-1}$ . A espectroscopia de infravermelho de transformada de Fourier (FT-IR) foi conduzida usando um Frontier 94.942 (PerkinElmer, EUA) na faixa de 4000 500  $\text{cm}^{-1}$ , varreduras foram acumuladas em cada amostra[14].

## Desempenho dos filmes como embalagem de morangos

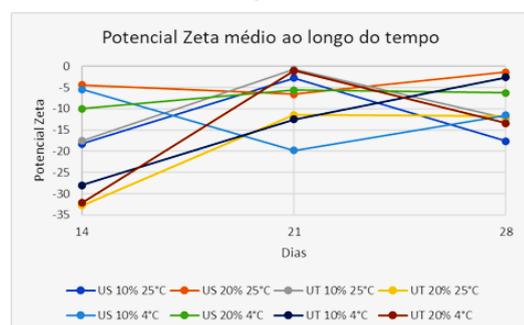
A análise dos morangos (*Fragaria ananassa*) foram adquiridos no mercado local, lavados em água, mergulhados em hipoclorito de sódio (250 ppm) e lavados novamente em água destilada para evitar contaminação externa. Morangos com imperfeições, marcas profundas ou sinais de podridão foram descartados. Os frutos selecionados foram pesados e embalados com filmes em seladora manual de embalagens plásticas a 120 °C (TECNAL STN, São Paulo, Brasil), e armazenados em geladeira, a 4 °C, por 14 dias. A cada 24 h, cada sistema foi pesado, e a perda de peso foi expressa em porcentagem do peso inicial[14].

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

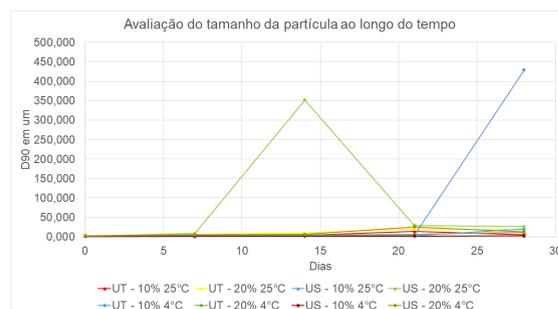
**Tabela 1** – Estabilidade ao longo dos dias

Média de estabilidade dia 0		Média de estabilidade dia 28	
UT - 10% 25°C	100,0	UT - 10% 25°C	84,6
UT - 20% 25°C	100,0	UT - 20% 25°C	72,1
US - 10% 25°C	98,4	US - 10% 25°C	85,3
US - 20% 25°C	100,0	US - 20% 25°C	24,9
UT - 10% 4°C	100,0	UT - 10% 4°C	15,7
UT - 20% 4°C	100,0	UT - 20% 4°C	26,4
US - 10% 4°C	96,7	US - 10% 4°C	20,3
US - 20% 4°C	92,8	US - 20% 4°C	29,4

**Figura 2** – Análise da estabilidade com o potencial zeta



**Figura 3** – Análise do tamanho da partícula com o Bettersize



**Tabela 4** – Teste antioxidante (DPPH)

	AA(%)				
	1	0,5	0,25	0,125	0,0625
<b>Dia 0 - 10% UT - 25°C</b>	0,143	0,122	0,120	0,082	0,109
<b>Dia 0 - 20% UT - 25°C</b>	0,207	0,178	0,176	0,172	0,174
<b>Dia 0 - 10% US - 25°C</b>	0,096	0,072	0,074	0,237	0,071

Dia 7 - 10% US - 25°C	0,116	0,106	0,091	0,081	0,084
Dia 7 - 20% US - 25°C	0,255	0,095	0,105	0,096	0,095
Dia 7 - 10% UT - 25°C	0,098	0,092	0,121	0,089	0,099
Dia 7 - 20% UT - 25°C	0,168	0,222	0,075	0,191	0,097
Dia 7 - 10% US - 4°C	0,104	0,090	0,085	0,078	0,089
Dia 7 - 20% US - 4°C	0,163	0,161	0,179	0,098	0,129
Dia 7 - 10% UT - 4°C	0,154	0,138	0,114	0,170	0,114
Dia 7 - 20% UT - 4°C	0,205	0,138	0,120	0,432	0,173
Dia 28 - 10% UT - 25°C	98,309	93,948	84,734	72,507	63,710
Dia 28 - 20% UT - 25°C	93,310	85,984	70,522	38,961	39,721
Dia 28 - 10% US - 25°C	81,255	57,755	40,015	21,955	19,824
Dia 28 - 20% US - 25°C	86,596	64,617	46,778	25,557	12,644
Dia 28 - 10% UT - 4°C	75,521	50,184	29,674	14,310	8,919
Dia 28 - 20% UT - 4°C	92,330	78,241	59,520	35,383	32,222
Dia 28 - 10% US - 4°C	86,939	75,349	64,322	45,528	35,310
Dia 28 - 20% US - 4°C	90,713	75,864	58,148	37,442	27,836

Figura 5 – Análise da interação dos compostos

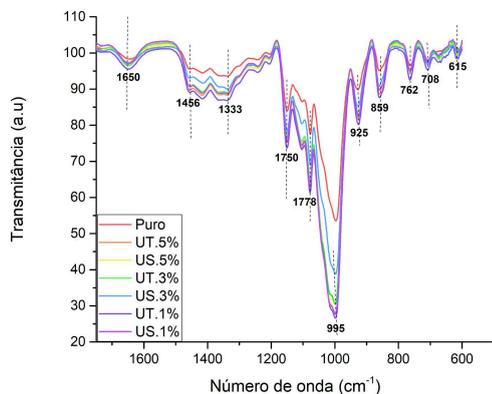
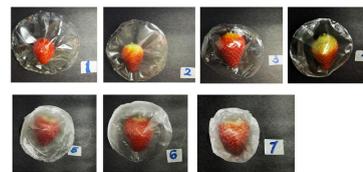


Tabela 6 – Observação dos morangos

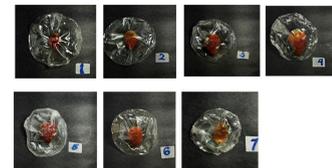
Porcentagem da Perda de Massa ao longo dos dias (							
	UT .10% .4°C .1%	US .10% .25°C .1%	US .10% .25°C .3%	UT .10% .4°C .3%	US .10% .25°C .5%	UT .10% .4°C .5%	Puro
Dia 0	4,75	2,97	2,74	2,12	9,29	10,75	20,7
Dia 5	17,55	11,27	9,75	8,12	10,49	12,20	31,27
Dia 6	20,67	13,34	11,81	9,86	12,7	14,57	26,24
Dia 7	23,65	15,42	13,55	11,53	15,18	17,78	31,27
Dia 8	27,37	18,09	15,86	13,55	18,27	21,12	36,74
Dia 14	48,65	33,40	30,70	25,01	32,49	38,40	63,04

Figura 7 – Análise visual dos morangos

### Primeiro dia



### Último dia



1 UT.10%.4°C.1% 2 US.10%.25°C.1% 3 US.10%.25°C.3% 4 UT.10%.4°C.3%  
5 US.10%.25°C.5% 6 UT.10%.4°C.5% 7 Puro

Tabela 8 - Análise da hidrofiliidade

Medidas do ângulo de contato	
Amostras	Ângulo médio
Puro	32,27
UT.10%.1%	24,01
US.10%.1%	13,32
UT.10%.3%	19,16
US.10%.3%	18,14
UT.10%.5%	13,40
US.10%.5%	18,50

**Tabela 9** - Índice de velocidade de crescimento

Índice de velocidade de crescimento			
	Dia 2	Dia 4	Dia 6
	-	-	-
	Dia 0	Dia 2	Dia 4
1v (UT.5%)	3,83	3,19	6,45
2v (UT.5%)	3,81	3,20	7,55
3v (UT.3%)	3,84	3,19	6,06
4v (UT.3%)	3,28	2,83	8,22
5v (UT.1%)	4,00	3,33	6,76
6v (UT.1%)	3,63	3,10	7,75
7v (US.5%)	3,46	2,98	6,28
8v (US.5%)	4,14	3,46	7,87
9v (US.3%)	3,59	3,10	6,59
10v (US.3%)	3,42	2,93	7,15
11v (US.1%)	3,65	3,08	5,79
12v (US.1%)	3,39	2,89	6,26
13v (Puro)	3,40	2,94	7,54
14v (Puro)	3,97	3,28	7,23
15v (Fungo)	3,70	3,14	6,92
16v (Fungo)	2,13	2,03	7,66

**Tabela 10** - Taxa de inibição

Percentual de inibição (%)				
	Dia 0	Dia 2	Dia 4	Dia 6
1v-2v (UT.5%)	5,71	-2,60	-2,60	4,55
3v-4v (UT.3%)	1,68	3,26	3,26	3,32
5v-6v (UT.1%)	-2,74	-3,34	-3,34	1,33
7v-8v (US.5%)	-6,78	-3,43	-3,43	3,56
9v-10v (US.3%)	-12,13	3,06	3,06	6,65
11v-12v (US.1%)	0,85	4,18	4,18	17,25
13v-14v (Puro)				
15v-16v (Fungo Botrytis Cinerra)	-14,11	-14,11	-20,48	2,63

## DISCUSSÃO

Com base na **Tabela 1** podemos notar que para o dia 0, os valores de instabilidade são todos iguais a zero. Isso indica que, inicialmente, as emulsões estão estáveis, ou seja, as fases oleosa e aquosa estão bem dispersas e não houve coalescência, agregação, creme ou quebra significativa da emulsão. Portanto, os resultados sugerem que as diferentes formulações de emulsões testadas foram bem preparadas e estão em um estado inicial de estabilidade, conforme indicado pelo valor zero de instabilidade em praticamente todas as emulsões. Entretanto, para o dia 28 os resultados indicam uma variação na estabilidade das emulsões em comparação com o dia 0. As emulsões com concentração de emulsificante de 10% a 25°C (US e UT), houve um aumento na instabilidade, visto que os valores na última coluna aumentaram em comparação com o dia 0. Isso sugere uma maior separação das fases oleosa e aquosa, indicando uma possível coalescência ou quebra da emulsão. As emulsões com concentração de emulsificante de 20% a 25°C (US e UT) também observamos um aumento na instabilidade[15].

Na **Figura 2**, demonstra os resultados de outra técnica para medir a estabilidade, conforme o gráfico o potencial zeta das amostras nos dias 14, 21 e 28 observa-se que as amostras apresentam uma ampla variação nos valores ao longo

dos dias, com algumas flutuações significativas em determinadas condições de temperatura e concentração. As amostras com 20% mostram maior estabilidade eletrostática em comparação com as de 10%, especialmente a 25°C. As amostras resfriadas a 4°C tendem a apresentar valores de potencial zeta mais negativos, indicando maior instabilidade. Na análise do tamanho da partícula (**Figura 3**), indicam variações significativas no tamanho das partículas ao longo do tempo e em diferentes condições de temperatura e concentração. Essas mudanças podem ser atribuídas a processos como aglutinação, coalescência, quebra ou fragmentação das partículas.

Outrossim, no teste antioxidante as seguintes emulsões apresentaram ao longo dos dias, variações nos valores de atividade antioxidante (AA%) em diferentes condições de temperatura e concentração (**Tabela 4**). Assim, tanto a técnica de ultrassom de alta intensidade (US) quanto o Ultraturax (UT) apresentaram resultados variáveis. No entanto, em geral, observou-se que as amostras tratadas com Ultraturax (UT) parecem ter uma atividade antioxidante mais estável e consistente ao longo do tempo, especialmente em temperaturas mais baixas (4°C). Por outro lado, as amostras tratadas com ultrassom de alta intensidade (US) mostraram uma tendência a diminuir a atividade antioxidante com o passar dos dias, especialmente em temperaturas mais altas (25°C). Isso sugere que o método Ultraturax pode ser mais eficaz na preservação da atividade antioxidante das amostras ao longo do tempo, em comparação com o ultrassom de alta intensidade, especialmente em condições mais severas de temperatura.

Na **Figura 5**, têm-se interações químicas no pico  $1650\text{ cm}^{-1}$  e essa região está geralmente associada a vibração de estiramento C=O, comum em amidos e compostos com grupos carbonílicos. No pico  $1456\text{ cm}^{-1}$  e  $1333\text{ cm}^{-1}$  pode considerar atribuições a vibrações de deformação CH<sub>2</sub>, também presentes em componentes do amido. Já, em  $1750\text{ cm}^{-1}$  é geralmente relacionado com estiramentos C=O em ésteres ou aldeídos, sugerindo a presença de algum tipo de interação química com o óleo essencial de cravo. Outrossim, nos picos  $995\text{ cm}^{-1}$ ,  $925\text{ cm}^{-1}$ ,  $859\text{ cm}^{-1}$  caracterizam os estiramentos de C-O-C, típicos em polissacarídeos como o amido que é presente tanto na emulsão quanto no filme. Assim, no último pico que é  $615\text{ cm}^{-1}$  evidencia os estiramentos de ligação C-H fora do plano, que também são relevantes para a estrutura do amido. Além disso, filmes com diferentes concentrações de óleo essencial mostram variações na intensidade dos picos, o que

pode sugerir que a quantidade de óleo afeta diretamente a estrutura do filme. Uma maior concentração pode resultar em interações mais fortes (como nas formulações com 5%) ou em uma alteração significativa na matriz do amido. Enfatizando que US teve resultados mais positivos referente à UT, pelo fato da alteração da interação entre o óleo essencial e o amido. O tratamento por ultrassom pode promover uma maior dispersão do óleo essencial dentro da matriz de amido, resultando em uma modificação mais uniforme na estrutura química.

Não obstante, na **Tabela 6** e **Figura 7** podemos observar que a perda de massa aumenta ao longo dos dias para todas as amostras. Isso é esperado, pois os morangos tendem a perder água ao longo do tempo, especialmente se armazenados em condições não ideais. A taxa de perda de massa pode estar relacionada diretamente com a eficiência das embalagens ativas em retardar esse processo. É possível inferir que os filmes de amido com óleo essencial de cravo têm um efeito positivo em retardar a perda de massa dos morangos. Filmes com maior concentração de óleo essencial podem ser mais eficazes, possivelmente devido às suas propriedades antimicrobianas e à capacidade de formar uma barreira mais eficiente contra a perda de umidade. Ademais, os resultados do ângulo de contato (**Tabela 8**) das amostras de filmes de amido com óleo essencial de cravo mostram que todos os filmes possuem características hidrofílicas, com ângulos de contato inferiores a 90° [12].

Assim, podemos observar que a amostra pura (32,27°) demonstra características hidrofílicas típicas do amido devido à presença de grupos polares (hidroxilas). Com a adição de emulsões de Pickering (com partículas sólidas e óleo essencial de cravo), os ângulos de contato diminuem, refletindo o aumento da hidrofilia. US.10% .1% (13,32°) e UT.10% .5% (13,40°) são as amostras com o comportamento mais **super-hidrofílico**, indicando maior dispersão de água e potencial anti-fogging. Entretanto, as formulações de 3% (UT e US) continuam a apresentar uma boa hidrofilia, mas sem atingir níveis de super-hidrofílica como as amostras de 1% e 5%. Deste modo, indica que melhora sua capacidade de controlar a umidade e evitar o embaçamento em embalagens de alimentos. Isso torna o material ideal para embalagens ativas, favorecendo a biodegradabilidade e a proteção antimicrobiana dos alimentos embalados.

Na **Tabela 9**, os resultados mostram que a concentração de óleo essencial de cravo influencia diretamente a estabilidade visual dos filmes de amido. Amostras

com 5% de UT e US (1v-2v e 7v-8v) apresentaram maior variação em D6-D4, indicando que concentrações mais elevadas podem acelerar alterações no filme, possivelmente devido a interações químicas. Amostras com 1% e 3% de UT e US tiveram variações menores inicialmente, mas ainda mostraram degradação ao longo do tempo. O filme puro (13v-14v) e o exposto ao fungo *Botrytis Cinera* (15v-16v) apresentaram as maiores variações, reforçando a importância do óleo essencial na proteção antimicrobiana e na preservação do material. Entretanto, na **Tabela 10** mostra a variação da taxa de inibição (P.I.%) de diferentes concentrações de óleo essencial de cravo ao longo do tempo. Concentrações maiores (UT 5%) começam com inibição positiva, mas apresentam declínio temporário, enquanto concentrações intermediárias (UT 3%, US 3%) mantêm uma inibição mais estável, com melhorias ao longo dos dias. A concentração mais baixa (US 1%) surpreendeu ao atingir a maior taxa de inibição no D6 (17,25%), demonstrando alta eficácia a longo prazo. O tratamento com o fungo *Botrytis cinerea* mostrou ineficácia inicial, com valores negativos acentuados, mas uma leve recuperação no D6 (2,63%). Assim, o óleo essencial de cravo se mostra promissor para embalagens ativas, dependendo da concentração e do tempo de aplicação.

## CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, podemos concluir que o óleo essencial de cravo apresenta potencial significativo para aplicação em embalagens ativas, devido às suas propriedades antimicrobianas e capacidade de reduzir a perda de massa em alimentos, como observado nos morangos. As emulsões de Pickering e o tratamento por ultrassom mostraram melhorias na estabilidade das emulsões e no desempenho antioxidante, especialmente em concentrações mais elevadas, como 5%, e em condições mais severas de temperatura. A interação entre o óleo essencial e o amido influenciou positivamente a estrutura dos filmes, aumentando sua hidrofilia e, conseqüentemente, sua eficiência em evitar o embaçamento e controlar a umidade. A eficácia na inibição do fungo *Botrytis cinerea* também reforça o uso do óleo essencial de cravo em concentrações adequadas para melhorar a durabilidade de alimentos perecíveis. Dessa forma, os resultados indicam que o óleo essencial de cravo é uma alternativa promissora para o desenvolvimento de materiais biodegradáveis otimizando a conservação de alimentos embalados.

## REFERÊNCIAS

- [1] Almeida, N. T. (2020). Efeito da aplicação de emulsão Pickering estabilizada por nanofibrilas de celulose bacteriana no desempenho de filmes de amido. Universidade Federal do Ceará.
- [2] Vianna, T. C., Marinho, C. O., Marangoni Júnior, L., Ibrahim, S. A., & Vieira, R. P. (2021). Essential oils as additives in active starch-based food packaging films: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 182, 1803–1819. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.170>
- [3] Altuna, L., Herrera, M. L., & Foresti, M. L. (2018). Synthesis and characterization of octenyl succinic anhydride modified starches for food applications. A review of recent literature. *Food Hydrocolloids*, 80, 97–110. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2018.01.032>
- [4] Yildirim, S., Röcker, B., Pettersen, M. K., Nilsen-Nygaard, J., Ayhan, Z., Rutkaite, R., Radusin, T., Suminska, P., Marcos, B., & Coma, V. (2018). Active Packaging Applications for Food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(1), 165–199. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12322>
- [5] Sharma, S., Barkauskaite, S., Jaiswal, A. K., & Jaiswal, S. (2021). Essential oils as additives in active food packaging. *Food Chemistry*, 343(October 2020), 128403. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128403>
- [6] SOUZA, Alana G. *et al.* Starch-based films enriched with nanocellulose-stabilized Pickering emulsions containing different essential oils for possible applications in food packaging. **Food Packaging and Shelf Life**, [s. l.], 29 nov. 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100615>. Disponível em: <https://www.sciencedirect-com.ez42.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2214289420306335?via%3Dihub>. Acesso em: 11 set. 2024.
- [7] Souza, A. G., Ferreira, R. R., Paula, L. C., Setz, L. F. G., & Rosa, D. S. (2020). The effect of essential oil chemical structures on Pickering emulsion stabilized with cellulose nanofibrils. *Journal of Molecular Liquids*, 320, 114458. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114458>
- [8] Montero, Y., Souza, A. G., Oliveira, É. R., & Rosa, D. dos S. (2021). Nanocellulose functionalized with cinnamon essential oil: A potential application in active biodegradable packaging for strawberry. *Sustainable Materials and Technologies*, 29. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2021.e00289>
- [9] NEVES, Flávia de Oliveira Borges Costa *et al.* Meios de cultura e efeito do óleo essencial de melaleuca no crescimento micelial de *Stemphylium* sp. **Investig. Agrar.**, [s. l.], 26 jun. 2021.
- [10] APLICAÇÃO Scriptable Java para processamento de imagens científicas. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://imagej.softonic.com.br/>. Acesso em: 11 set. 2024.
- [11] SANTOSO, Iman. Inhibition of the phytopathogenic fungi *Curvularia lunata* BM and *Ganoderma* sp. TB4 by antifungal compounds produced by *Bacillus siamensis* LDR grown on hanjeli (*Cox lacryma-jobi* L.) starch. **Pharmacia**, [s. l.], 7 mar. 2022. DOI 10.3897/pharmacia.69.e80180.
- [12] Mehdizadeh, T., Tajik, H., Razavi Rohani, S. M., & Oromiehie, A. R. (2012). Antibacterial, antioxidant and optical properties of edible starch-chitosan composite film containing *Thymus kotschyanus* essential oil. *Veterinary Research Forum : An International Quarterly Journal*, 3(3), 167–173. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25610564%0Ahttp://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC4299978>
- [13] CAMANI, Paulo H.; SOUZA, Alana G.; BARBOSA, Rennan F.S.; ZANINI, Noelle C.; MULINARI, Daniella R.; ROSA, Derval S. Comprehensive Insight into surfactant modified-PBAT physico-chemical and biodegradability properties. **Journal Pre-proof**, [s. l.], 19 out. 2020.
- [14] FERREIRA, Rafaela R. *et al.* Essential oils loaded-chitosan nanocapsules incorporation in biodegradable starch films: A strategy to improve fruits shelf life. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s. l.], v. Volume 188, p. Pages 628-638, 1 out. 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.08.046>.
- [15] BELTRÁN, Carlos Andrés *et al.* Encapsulação de compostos bioativos por emulsão Pickering: revisão. **Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales**, [s. l.], 22 ago. 2022. DOI <https://doi.org/10.23850/24220582.5005>.