APLICAÇÃO DE COBERTURA COMESTÍVEL DE PECTINA PREVIAMENTE À SECAGEM DE FATIAS DE ABACAXI

Deivisson Anselmo Alves da Silva[1], Daiane Cristina Lenhard[1], Eliana Maria Baldissera[1], Gláucia Cristina Moreira[1], Carolina Castilho Garcia[1*]

*[1]Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Medianeira, Medianeira, PR, Brasil (*carolinacgarcia@utfpr.edu.br)*

Resumo: O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da cobertura de pectina na secagem convectiva de fatias de abacaxi. Os dados experimentais de secagem ajustaram-se ao modelo de Henderson e Pabis Modificado; e a segunda lei de Fick representou-os moderadamente. Apesar de alteradas, as fatias cobertas ficaram visualmente mais claras e menos danificadas do que as sem cobertura após a secagem. Os resultados apontam que a cobertura influenciou a cinética de secagem e protegeu compostos presentes.

Palavras-chave: *Ananas comosus*; Transferência de Massa; Modelos Matemáticos; Alteração celular.

INTRODUÇÃO

Frutas são fundamentais na alimentação humana, pois aportam nutrientes essenciais, como vitaminas, minerais e fibras, além de apresentarem conteúdo relevante de proteínas, lipídios, carboidratos e antioxidantes naturais, que auxiliam na redução do estresse oxidativo das células do corpo humano (Santos et al., 2019).

A fruticultura é uma atividade importante para a geração de renda e para o desenvolvimento do país. Segundo Andrade (2020), em 2020, o Brasil ocupou a terceira colocação no ranking da produção mundial de frutas, sendo responsável por 4,6% do volume colhido. Foram produzidas 39,9 milhões de toneladas de frutas neste ano, com colheitas significativas de laranja, banana, melancia, abacaxi e uva.

De acordo com Oliveira (2017) o abacaxi é uma fruta tropical, caracterizada por caule curto, roseta de folhas estreitas e duras, inflorescências terminais em forma de racemos ou panículas. A parte comestível é uma boa fonte de vitamina C, manganês e fibras e seu consumo dá-se frequentemente na forma fresca ou em sucos, sobremesas e pratos salgados.

Um índice alarmante que afeta diretamente os pequenos polos varejistas de frutas brasileiras, gerando impactos socioeconômicos em todas as escalas, é a perda de alimentos (Nascimento et al., 2019). As perdas pós-colheita podem ocorrer em várias etapas da cadeia de suprimentos de alimentos, desde a colheita até o consumo final. Procurar formas de reduzir essas perdas na colheita e pós-colheita é importante para estimular a fruticultura brasileira, contribuindo, dentre outros, para o abastecimento de alimentos em diferentes regiões do país durante o período de entressafra (Szymanowski et al., 2021).

A secagem de parte dos alimentos impróprios para a comercialização, por conta de danos sofridos na colheita e/ou pós-colheita, como por exemplo impactos nos transportes, cortes inapropriados, abrasões e rachaduras, que levariam ao descarte do produto, contribuiria para minimizar as perdas e agregar valor, representando uma solução viável para a questão.

A secagem de alimentos é um método no qual a água é removida para retardar o crescimento de microrganismos deteriorantes e reações bio-físico-químicas, prolongando a vida útil dos alimentos. Dentre as vantagens desta operação unitária destacam-se a disponibilidade destes produtos nos períodos de entressafra, facilidade de transporte pela redução de massa e volume, melhor logística de armazenamento e segurança microbiológica e enzimática (Mercado et al., 2001; Martins et al., 2020).

Apesar de ser procedimento comum na indústria de alimentos, a secagem pode levar à perda de vitaminas, escurecimentos enzimático ou não enzimático e alterações estruturais indesejáveis. Para minimizar esses efeitos negativos, uma alternativa é a utilização de um pré-tratamento, tal como a aplicação de revestimentos comestíveis (Silva et al., 2015; Garcia et al., 2022).

Filmes e coberturas comestíveis são elaborados com biopolímeros e polissacarídeos ou combinação deles. Coberturas comestíveis caracterizam-se por camadas finas de material comestível aplicadas diretamente na superfície de alimentos criando barreiras para reduzir

a migração de oxigênio, dióxido de carbono, água, lipídios e aromas (Fakhouri et al., 2007).

Com base no exposto, visando minimizar as perdas na colheita e pós-colheita de alimentos, aumentando a vida de prateleira e agregando valor ao agronegócio do abacaxi, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de cobertura comestível de pectina na cinética de secagem convectiva de fatias de abacaxi.

MATERIAL E MÉTODOS

Abacaxis (*Ananas comosus* (L.) Merril) foram adquiridos no comércio local de Medianeira, PR, lavados, higienizados, descascados e fatiados manualmente em rodelas com 1 cm de espessura, as quais foram cortadas em fatias de 2,76 x 1,77 cm. As fatias de abacaxi foram cobertas ou não com cobertura comestível de pectina amidada (GRINSTED PECTIN SF 530) com 60% de teor de metoxilação previamente à secagem convectiva a 50 e 70 °C.

A solução de pectina a 2% (p/p) foi preparada como proposto por Garcia et al. (2014). As fatias de abacaxi foram imersas por 1 min nessa solução a 40 °C, sendo a gelificação da pectina ativada pela imersão em solução aquosa 1% (p/p) de cloreto de cálcio por 30 s.

A secagem foi realizada em estufa com recirculação forçada do ar e controlador digital de temperatura a 50 e 70 °C por 280 min e 240 min, respectivamente. As amostras foram pesadas a cada 20 min e o equilíbrio entre as fatias de abacaxi cobertas ou não e o ar de secagem foi determinado de forma dinâmica.

A secagem foi modelada por meio da solução integrada de Crank (1975) para a segunda lei de Fick, considerando as fatias como placa plana, Equação 1; e também por meio dos modelos empíricos/semiempíricos apresentados na Tabela 1, Equações 2 a 13.

$$RU = \left(\frac{\bar{X}_t - X^{eq}}{X^0 - X^{eq}}\right) = \frac{8}{\pi^2}\left[e^{\left(\frac{-\pi^2}{4}\frac{D_{ef}\cdot t}{z^2}\right)} + \cdots \frac{1}{9}\, e^{\left(\frac{-9\,\pi^2}{4}\frac{D_{ef}\cdot t}{z^2}\right)} + \frac{1}{25}\, e^{\left(\frac{-25\,\pi^2}{4}\frac{D_{ef}\cdot t}{z^2}\right)} + \cdots\right] \quad (1)$$

Em que: RU representa a razão de umidade, adimensional, dada por $RU = \left(\bar{X}_t - X_{eq}\right) \Big/ \left(X_0 - X_{eq}\right)$; X_{eq} é a umidade de equilíbrio, em base seca; $\bar{X}_t$ representa o teor de água médio num tempo t, em base seca; X_0 representa o teor de água inicial, em base seca; D_{ef} representa o coeficiente de difusão do líquido aplicável ao movimento através do sólido em $m^2 \cdot s^{-1}$; t representa o tempo de secagem em s; z representa a meia espessura da placa plana, em m.

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para predizer a operação de secagem.

Modelo		
$RU = 1 + at + bt^2$	Wang e Sing	(2)
$RU = a.e^{(-k.t)} + (1 - a).e^{(-k_1.t)}$	Verma	(3)
$RU = e^{\left[\frac{\left[-a-(a^2+4.b.t)^{0,5}\right]}{2.b}\right]}$	Thompson	(4)
$RU = e^{(-k.t^n)}$	Page	(5)
$RU = e^{(-k.t)}$	Newton	(6)
$RU = a.e^{(-k.t^n)} + b.t$	Midilli	(7)
$RU = a.e^{(-k.t)} + c$	Logarítmico	(8)
$RU = a.e^{(-k.t)}$	Henderson e Pabis	(9)
$RU = a.e^{(-k.t)} + b.e^{(-k_o.t)} + c.e^{(-k_1.t)}$	Henderson e Pabis Modificado	(10)
$RU = a.e^{(-k.t)} + (1 - a).e^{(-k.a.t)}$	Exponencial de Dois Termos	(11)
$RU = a.e^{(-k_0.t)} + b.e^{(-k_1.t)}$	Dois Termos	(12)
$RU = a.e^{(-k.t)} + (1 - a).e^{(-k.b.t)}$	Aproximação da Difusão	(13)

Em que: RU representa a razão de umidade do produto, adimensional; k, k_o e k_1 são as constantes de secagem, em s^{-1}; a, b, c, n são os coeficientes dos modelos; t representa o tempo de secagem, em s.

Os dados experimentais foram ajustados à lei de Fick por meio de sua linearização e aos modelos propostos na Tabela 1 com base no algoritmo de Levenberg-Marquardt, para estimar os parâmetros não lineares dos modelos pelo método dos quadrados mínimos (Marquardt, 1963), utilizando o critério de convergência de $1 \cdot 10^{-6}$.

Para verificar o ajuste dos dados experimentais aos modelos propostos, Equações 1 a 13, foi avaliada a magnitude do coeficiente de determinação (R^2), a raiz do erro quadrático médio (*RMSE*) e o erro médio relativo (P), os dois últimos calculados de acordo com as Equações 14 e 15.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_{calc} - x_{exp})^2}{n}} \quad (14)$$

$$P = \frac{100}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{|x_{exp} - x_{calc}|}{x_{exp}} \quad (15)$$

Em que: x_{calc} representa o valor previsto pelo modelo; x_{exp} representa o valor experimental; n é o número de observações experimentais.

De acordo com Rudy et al. (2015), valores baixos de *RMSE* e R^2 próximo a 1,0 indicam um bom ajuste dos

dados experimentais aos modelos. Segundo Krokida & Marinos-Kouris (2003), o erro relativo médio indica o erro relativo das previsões, e um valor inferior a 10 % indica concordância razoável.

Para caracterizar as fatias de frutas frescas, secas e na condição de equilíbrio com o ar de secagem, foram determinadas em triplicata: umidade em triplicata segundo o método AOAC (2000), n° 968.11, atividade de água, em equipamento analisador de atividade de água (AquaLab 4TE, Meter, São José dos Campos, SP, Brasil) e a cor, utilizando colorímetro (Konica Minolta, Japão) com iluminante D65 e ângulo de observação de 10°, avaliando as coordenadas L* (lightness – claridade), que varia de 0 a 100, mais claro ou mais escuro; a* (greeness – esverdeado/redness – avermelhado), que indica coloração do verde (valores negativos) ao vermelho (valores positivos); e b* (blueness – azulado/yellowness – amarelado) indicando a coloração do azul (valores negativos) ao amarelo (valores positivos), segundo o método CIE (1996).

Análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey foram realizados ao nível de significância de 5% para verificar a existência de diferenças significativas entre as médias dos dados de caracterização das amostras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas de secagem das fatias frescas de abacaxi e cobertas com pectina a 50 e 70 °C, representadas pelos valores médios de umidade em função do tempo de operação, são apresentadas na Figura 1.

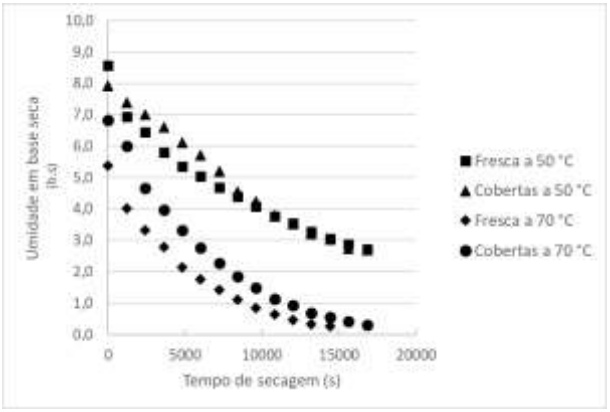


Figura 1. Variação da umidade em função do tempo de secagem a 50 e 70 °C de fatias de abacaxi com e sem revestimento de pectina.

Observou-se redução exponencial da umidade com o tempo de operação. Nas secagens a 50 °C verificou-se redução exponencial da umidade até cerca de 16000 s de secagem; enquanto que nas operações a 70 °C esse efeito foi observado até cerca de 11000 s. Após esse período, as taxas de secagem diminuíram, tendendo ao equilíbrio. Esse comportamento é típico na secagem de frutas (Silva et al., 2015; Garcia et al., 2014).

A temperatura do ar de secagem exerceu influência significativa no processo, já que, para determinado tempo de operação, menores umidades foram verificadas para as fatias de abacaxi submetidas à secagem à maior temperatura.

Comparando as operações a 50 °C, a aplicação da cobertura comestível de pectina não afetou significativamente a cinética da operação, já que as umidades das fatias frescas e das cobertas foram praticamente as mesmas em determinado tempo de operação. Para os ensaios a 70 °C, por sua vez, a aplicação da cobertura alterou a cinética de secagem, sendo que as fatias cobertas secaram mais lentamente que as frescas, possivelmente por causa do ganho inicial de umidade devido à aplicação da cobertura.

A lei de Fick, Equação 1, representou moderadamente os dados experimentais das secagens das fatias de abacaxi fresco e coberto com pectina, pois, quando avaliados em conjunto, nem todos os parâmetros estatísticos apresentaram valores recomendados. Os coeficientes de difusão determinados pela linearização da Equação 1 e os parâmetros estatísticos utilizados para verificar o ajuste dos dados experimentais ao modelo são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Coeficientes de difusão efetivos da água durante a secagem a 50 e 70 °C das fatias de abacaxi frescas e cobertas com pectina e parâmetros estatísticos utilizados para avaliar o ajuste dos dados experimentais à lei de Fick.

Amostra	D_{ef}, $m^2 \cdot s^{-1}$	R^2	*RMSE*	*P*, %
F50	$1{,}154 \cdot 10^{-8}$	0,99	93,9	0,83
C50	$9{,}163 \cdot 10^{-8}$	0,90	2,11	0,22
F70	$6{,}395 \cdot 10^{-8}$	0,96	6,09	0,85
C70	$1{,}067 \cdot 10^{-8}$	0,85	6,09	0,64

F indica amostra fresca; C, amostra coberta com pectina; 50 indica $T_{secagem}$ = 50 °C; 70, $T_{secagem}$ = 70 °C.

Silva et al. (2015) estudaram os efeitos da aplicação de revestimentos comestíveis na cinética de secagem convectiva e características de abacaxi. Os autores observaram que o tempo de secagem diminuiu significativamente com o aumento da temperatura de secagem, como no presente trabalho. Os coeficientes de difusão efetivos da água foram maiores nas fatias de abacaxi cobertas do que nas não cobertas, apontando que o revestimento contribuiu para o aumento da difusividade, devido à hidrofilicidade das coberturas. Esse efeito também foi observado por Garcia et al. (2014) durante a secagem de fatias de mamão cobertas ou não com cobertura comestível de pectina. No presente trabalho, esse efeito não foi observado e a lei de Fick representou moderadamente os dados experimentais.

Não foi possível ajustar os dados experimentais de secagem das fatias de abacaxi aos modelos matemáticos de Thompson, Equação 4, e de Midili, Equação 7, utilizando o método dos quadrados mínimos, pois as variáveis explicativas não adicionaram informações relevantes aos modelos, resultando em redundância na modelagem.

Os valores dos coeficientes de determinação (R^2) para o ajuste dos dados experimentais de secagem aos modelos de Wang e Sing, Equação 2, Page, Equação 5, e Henderson e Pabis Modificado, Equação 10, foram acima de 98% nos experimentos de secagem realizados, o que indica bom ajuste dos dados experimentais aos valores estimados pelos modelos (Rudy et al., 2015). Os valores da raiz do erro médio estimado (*RMSE*) foram próximos a zero para todos os modelos avaliados, evidenciando também bom ajuste dos dados experimentais aos modelos matemáticos (Rudy et al., 2015).

Os valores do erro médio relativo, *P* (%), devem ser inferiores a 10% para que os modelos representem os dados experimentais (Krokida & Marinos-Kouris, 2003). Nos experimentos conduzidos a 50 °C nenhum modelo apresentou valores de *P* abaixo de 10%, sendo que seus valores variaram entre 17,35 e 54,41%. De acordo com Lomauro et al. (1985) valores de *P* maiores que 10% são frequentemente encontrados nas curvas de secagem porque seu cálculo é baseado nos valores relativos de resíduos, que amplificam os desvios nas etapas finais de secagem quando o teor de umidade é relativamente baixo. Resultados semelhantes foram encontrados por outros autores (Garcia et al., 2022; Garcia et al., 2014).

Assim, avaliando simultaneamente os indicadores estatísticos, verificou-se que, dentre os modelos empíricos testados, o modelo de Henderson e Pabis Modificado, Equação 10, foi o que melhor representou os dados experimentais para todos os ensaios de secagem realizados no presente estudo, pois os ajustes apresentaram $R^2 > 0,98$, *RMSE* < 0,03 e os menores valores de *P*, próximos de 10%.

Na Tabela 3 estão apresentados os parâmetros do modelo de Henderson e Pabis modificado, Equação 10, para cada ensaio de secagem realizado.

Tabela 3. Coeficientes do modelo de Henderson e Pabis Modificado para as secagens a 50 e 70 °C de fatias de abacaxi frescas e cobertas com pectina.

	F50	C50	F70	C70
a	$1,0\cdot10^{-5}\pm1,7\cdot10^{-4}$	$-2,5\cdot10^{-3}\pm4,9\cdot10^{-2}$	$2,0\cdot10^{-4}\pm1,9\cdot10^{-2}$	$4,0\cdot10^{-5}\pm1,5$
b	$2,0\cdot10^{-3}\pm3,6\cdot10^{-2}$	$2,8\cdot10^{-5}\pm5,8\cdot10^{-4}$	$2,0\cdot10^{-4}\pm4,9\cdot10^{-2}$	$-2,0\cdot10^{-5}\pm3,4\cdot10^{-2}$
c	$-2,5\cdot10^{-5}\pm4,0\cdot10^{-4}$	$1,1\cdot10^{-4}\pm0,1$	$1,0\pm6,7\cdot10^{-2}$	$-2,0\cdot10^{-5}\pm3,1\cdot10^{-2}$
k, s^{-1}	$1,4\pm1,6\cdot10^{1}$	$0,0\pm0,0$	$913,5\pm6,2\cdot10^{4}$	$-3,2\pm9,9\cdot10^{3}$
k_0, s^{-1}	$2,0\cdot10^{-2}\pm35,4$	$1,3\pm5,0\cdot10^{-2}$	$-90,5\pm6,2\cdot10^{4}$	$2,1\pm0,0$
k_1, s^{-1}	$-3,9\cdot10^{1}\pm16,6$	$-1,1\cdot10^{-4}\pm1,2\cdot10^{1}$	$1,7\cdot10^{1}\pm3,5\cdot10^{2}$	$2,1\pm0,0$

F indica amostra fresca; C, amostra coberta com pectina; 50 indica $T_{secagem}$ = 50 °C; 70, $T_{secagem}$ = 70 °C. Resultados apresentados como média ± erro padrão.

A Tabela 4 apresenta os valores médios de umidade e atividade de água das fatias de abacaxi frescas, secas com e sem adição de cobertura comestível de pectina e em equilíbrio com o ar de secagem.

Tabela 4. Umidade e atividade de água, *aw*, das fatias de abacaxi frescas, secas e de equilíbrio a 50 e 70 °C, com e sem cobertura de pectina.

Amostras	Umidade, %	*aw*
$T_{secagem}$ = 50 °C, sem cobertura		
Frescas	$0,8956 \pm 0,003^{a}$	$0,9890 \pm 0,000^{a}$
Secas	$0,7314 \pm 0,016^{b}$	$0,8819 \pm 0,032^{a}$
Equilíbrio	$0,2360 \pm 0,002^{c}$	$0,5347 \pm 0,046^{b}$
$T_{secagem}$ = 50 °C, com cobertura		
Frescas	$0,8772 \pm 0,009^{a}$	$0,9870 \pm 0,005^{a}$
Secas	$0,7287 \pm 0,040^{b}$	$0,8933 \pm 0,037^{a}$
Equilíbrio	$0,1412 \pm 0,006^{c}$	$0,5035 \pm 0,013^{b}$
$T_{secagem}$ = 70 °C, sem cobertura		
Frescas	$0,8429 \pm 0,006^{a}$	$0,9854 \pm 0,004^{a}$
Secas	$0,2070 \pm 0,011^{b}$	$0,5305 \pm 0,133^{b}$
Equilíbrio	$0,0455 \pm 0,001^{c}$	$0,4989 \pm 0,030^{b}$
$T_{secagem}$ = 70 °C, com cobertura		
Frescas	$0,8963 \pm 0,003^{a}$	$0,9971 \pm 0,007^{a}$
Secas	$0,2375 \pm 0,001^{b}$	$0,6952 \pm 0,033^{b}$
Equilíbrio	$0,0547 \pm 0,003^{c}$	$0,4944 \pm 0,018^{b}$

Resultados apresentados como média ± erro padrão. Letras diferentes na mesma coluna para cada experimento de secagem indicam diferença significativa ao nível de 5% de significância, segundo teste de Tukey.

Observou-se que a umidade dos abacaxis frescos foi significativamente maior que os valores para as amostras secas e de equilíbrio, como já esperado.

Comparando a atividade de água das fatias de abacaxi secas a 50 °C sem e com cobertura, não foi verificada diferença significativa, independentemente da aplicação da cobertura comestível, evidenciando que a mesma não interferiu na secagem. Por outro lado, houve diferença significativa entre as amostras frescas e secas em relação às de equilíbrio, como esperado.

Para os ensaios realizados a 70 ºC, diferenças significativas na umidade e na atividade de água das amostras com e sem cobertura foram observadas, sendo que os valores para as frutas secas e de equilíbrio foram significativamente menores em comparação às frescas. Esse fato também evidencia que a aplicação de cobertura comestível de pectina na superfície de fatias de abacaxi não afetou significativamente a operação de secagem.

Comparando as operações conduzidas a 50 e 70 ºC com as fatias de abacaxi cobertas ou não, verificou-se que a atividade de água e a umidade das amostras secas e de equilíbrio apresentaram valores significativamente menores para as operações conduzidas a 70 ºC. Esse fato mostra que a temperatura afetou a velocidade com que a água difundiu dentro da fruta e sua vaporização para o ambiente, já que a energia térmica fornecida ao alimento aumentou, aumentando a taxa de vaporização. Assim, as fatias de fruta perderam umidade mais rapidamente para um mesmo intervalo de tempo (Martins et al., 2020; Germer et al.,2011).

A atividade de água das amostras após a secagem a 50 °C foi maior que 0,80, apontando que o tempo de secagem utilizado no presente estudo foi insuficiente para garantir a segurança microbiológica dos produtos secos, já que sua atividade de água resultou maior do que 0,60 (Damodaran; Parkin, 2019). Por outro lado, as amostras cobertas ou não e secas a 70 °C apresentaram atividade de água significativamente menor, com valores abaixo de 0,69. As frutas secas a 70 °C sem cobertura apresentaram atividade de água menor do que 0,60, sendo, portanto, seguras para consumo do ponto de vista microbiológico.

Na Tabela 5 são apresentados os parâmetros de cor das fatias de abacaxi frescas e secas a 50 e 70 °C com e sem o revestimento de pectina.

Tabela 5. Componentes colorimétricos das fatias de abacaxi frescas e secas a 50 e 70 °C com e sem cobertura de pectina.

Amostras	L*	a*	b*
$T_{secagem}$ = 50 °C, sem cobertura			
Frescas	68,39 ± 5,69[a]	-7,92 ± 0,28[a]	25,31 ± 2,98[a]
Secas	67,57 ± 0,67[a]	-7,59 ± 0,20[a]	31,45 ± 2,51[a]
$T_{secagem}$ = 50 °C, com cobertura			
Frescas	63,05 ± 6,84[a]	-7,49 ± 0,20[a]	24,23 ± 3,19[a]
Secas	69,43 ± 3,71[a]	-8,28 ± 0,12[a]	31,10 ± 2,34[a]
$T_{secagem}$ = 70 °C, sem cobertura			
Frescas	70,33 ± 2,21a	19,70 ± 2,35b	103,18 ± 0,14a
Secas	55,81 ± 3,82b	31,72 ± 4,03a	89,99 ± 4,17b
$T_{secagem}$ = 70 °C, com cobertura			
Frescas	51,15 ± 3,99a	-3,50 ± 0,22b	17,93 ± 2,88a
Secas	47,18 ± 4,21a	-1,33 ± 0,82a	25,43 ± 2,54a

Resultados apresentados como média ± erro padrão. Letras diferentes na mesma coluna para cada experimento de secagem indicam diferença significativa ao nível de 5% de significância, segundo teste de Tukey.

A claridade das amostras, L*, não variou significativamente como resultado da secagem convectiva das fatias de abacaxi, com exceção das amostras secas a 70 °C com cobertura, que apresentaram valor de L* significativamente menor (47,18) que o das frutas frescas (70,33).

Os valores do parâmetro a*, que expressa a tendência de cor verde (valores negativos) ou vermelha (valores positivos), foram predominantemente negativos, com exceção das frutas utilizadas no ensaio de secagem a 70 °C sem aplicação de cobertura comestível. De qualquer forma, quando as frutas foram desidratadas a 50 °C, não foi verificada diferença estatisticamente significativa nos valores desse parâmetro. Por outro lado, a secagem à maior temperatura resultou em aumento significativo dos valores de a*, mostrando que as amostras tonaram-se mais avermelhadas como resultado da operação. Esse fato é um indicativo de que compostos relacionados à cor das amostras sofreram alterações com a operação.

O parâmetro b*, relacionado à intensidade da cor amarela, não apresentou diferenças estatisticamente significativas entre as amostras antes e após a secagem a 50 °C e entre as amostras cobertas e secas a 70 °C. Entretanto, o valor de b* das fatias de fruta fresca (sem cobertura) secas a 70 °C reduziu significativamente em relação ao valor da fruta fresca, evidenciando degradação de componentes relacionados à cor do abacaxi.

Os dados colorimétricos indicam alterações significativas na cor instrumental das amostras em relação a todos os componentes quando a secagem foi conduzida a 70 °C, especialmente quando as frutas não foram recobertas com a cobertura comestível. Por outro lado, quando a secagem foi conduzida a 50 °C, os efeitos da operação na cor instrumental não foram significativos. Esse fato aponta que a maior temperatura de secagem influenciou negativamente a cor instrumental das amostras.

A tonalidade amarelo-alaranjada da polpa do abacaxi está relacionada principalmente à presença de carotenóides, sendo o β-caroteno o composto predominante. Outros carotenóides, como o α-caroteno e a criptoxantina, também exercem influência na sua coloração (Ferreira et al., 2016; Uenojo et al., 2007). Segundo Steingass et al. (2020), dentre os compostos bioativos relacionados à cor do abacaxi, o β-caroteno apresentou-se como o pigmento majoritário, presente em maior concentração, correspondendo de 31 a 38% do conteúdo total de carotenóides.

Os carotenóides pertencem à classe dos tetraterpenóides, compostos por 40 átomos de carbono organizados a partir da união de unidades isoprenóides dispostas de forma simétrica ao longo da molécula (Ferreira et al., 2016; Uenojo et al., 2007). De acordo com Pansiselvam et al. (2023), os carotenóides são compostos formados por unidades de isopreno, que apresentam elevado percentual de insaturações em sua estrutura, o que influencia diretamente sua estabilidade e biodisponibilidade. Devido à presença dessas ligações duplas conjugadas, o processamento térmico em altas temperaturas pode causar perdas significativas desses pigmentos. Ao mesmo tempo, a presença de oxigênio nas cadeias isoprenóides torna esses compostos altamente suscetíveis à oxidação.

A secagem das frutas frescas, sem cobertura, a 70 °C alterou significativamente os parâmetros colorimétricos a* e b*; enquanto esse efeito não foi observado para as amostras cobertas, indicando possível efeito protetivo da cobertura em relação à oxidação de carotenóides.

A aplicação da cobertura de pectina previamente à secagem de fatias de abacaxi teve como objetivo evitar alterações nutricionais, tais como a degradação de compostos bioativos, como os carotenóides. Os resultados da análise instrumental de cor das amostras sugerem que o efeito do aumento da temperatura foi mais significativo na degradação de carotenóides das fatias de abacaxi do que o contato com o oxigênio, já que independentemente da aplicação da cobertura de pectina, não foram observadas diferenças significativas nos parâmetros a* e b* das amostras secas a 50 °C, porém à temperatura de 70 °C sim. Aparentemente, a 70 °C o revestimento de pectina atuou como barreira ao oxigênio, reduzindo a oxidação de carotenóides durante a secagem, preservando, consequentemente, características sensoriais importantes do fruto, como sua cor.

CONCLUSÃO

As curvas de secagem apresentaram comportamento característico, com maiores velocidades para as maiores umidades dos sólidos. A 70 °C verificou-se redução no tempo necessário para atingir determinada umidade, devido ao aumento da taxa de secagem. Ainda mais, a aplicação da cobertura desacelerou a secagem das fatias de abacaxi, especialmente a 70 °C, devido ao ganho de umidade relacionado à aplicação da cobertura.

Dentre os modelos empíricos e semiempíricos empregados para descrever a secagem das amostras, de maneira geral, o que melhor representou os dados experimentais, a 50 e a 70 °C, foi o modelo de Henderson e Pabis Modificado. A segunda lei de Fick representou moderadamente os dados experimentais de secagem.

A secagem de fatias de abacaxi frescas e cobertas com cobertura comestível de pectina influenciou significativamente a atividade de água, a umidade e a cor das amostras. Com exceção da fruta fresca seca a 70 °C, as atividades de água das demais amostras secas resultaram maiores que 0,80, valor que não garante sua segurança microbiológica para consumo. As umidades das frutas desidratadas a 70 °C resultarem entre 20 e 23%, caracterizando os alimentos secos como de umidade intermediária.

De maneira geral, as amostras apresentaram valores negativos de a* e positivos de b*. A cor foi significativamente afetada pela secagem realizada a 70 °C, mas não a 50 °C, evidenciando que a temperatura afetou a composição das amostras. À maior temperatura de secagem, os resultados instrumentais de cor sugerem efeito protetivo da cobertura contra a degradação dos carotenóides das fatias de abacaxi.

AGRADECIMENTOS

À Central Analítica Multiusuário da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Medianeira, Paraná, Brasil, pelo suporte técnico e uso de equipamentos.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, P. F. S. Fruticultura – Análise da Conjuntura. Departamento de Economia Rural, Governo do Paraná, 2020. Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2020-01/fruticultura_2020.pdf>. Acesso em: 13 mai. 2026.

AOAC. Association Of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists 17th ed. Gaithersburg, Maryland: AOAC, 2000.

CIE. Commission Internationale de l'Éclairage. Color coordinate system 4th ed. Vienna: CIE, 1996.

CRANK, J. The mathematics of diffusion. 2a ed. Claredon Press, Oxford, 1975.

FAKHOURI, F. M.; FONTES, L. C. B.; GONÇALVES, P. V. M.; MILANEZ, C. R.; STEEL, C. J.; QUEIROZ, F. P. C. Edible films and coatings composed of native starches and gelatin in the preservation and sensory acceptance of Crimson grapes. Food Science and Technology, v. 27, n. 2, p. 369-375, 2007.

FERREIRA, E. A.; SIQUEIRA, H. E.; BOAS, E. V. V.; HERMES, V. S.;RIOS, A. de. O. BIOACTIVE COMPOUNDS AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF PINEAPPLE FRUIT OF DIFFERENT CULTIVARS. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 38, n. 3, p. e–146, 2016.

GARCIA, C. C.; CAETANO, L. C.; CANIZARES, D.; SILVA, K. S.; MAURO, M. A. Blanching effects on convective air-drying and sorption properties of papaya. Drying Technology, v. 40, p. 3509–3519, 2022.

GARCIA, C. C.; CAETANO, L. C.; SILVA, K. de S.; MAURO, M. A. Influence of Edible Coating on the Drying and Quality of Papaya (*Carica papaya*). Food and Bioprocess Technology, v. 7, p. 2828-2839, 18 jun. 2014.

KROKIDA, M. K.; MARINOS-KOURIS, D. Rehydration kinetics of dehydrated products. Journal of Food Engineering, v.57, n.1, p.1-7, 2003.

LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherms equations. Part I: fruit, vegetables and meat products. Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie, v. 18, p. 111–117, 1985.

MARQUARDT, D. W. An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters. Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics, v. 11, p. 431–441, 1963.

MARTINS, F. P.; NETO, J. C. B.; SILVA, A. J. O.; SIQUEIRA, A. M. de O. Drying: a review. The Journal of Engineering and Exact Sciences, v. 6, n. 4, p. 1-7, 2020.

MERCADO, H. V.; NIETO, M. M. G.; BARBOSA-CÁNOVA, G. V. Advances in dehydration of foods. Journal of Food Engineering, v. 49, p. 271-289, 2001.

NASCIMENTO, S. S.; ALMEIDA, E. I. B.; MENDES, M. da S.; SOUSA, A. N. S.; TOMM, T. F. R.; PIRES, I. C. G. Panorama da comercialização e perdas pós-colheita no setor varejista de frutas frescas, em Chapadinha (MA). Revista Agrotrópica, v. 31, n. 2, p. 159-168, 2019.

OLIVEIRA, Maira Maia Martins. A monocultura do abacaxi (*Ananas comusus*) no município de Floresta do Araguaia – PA: da produção de subsistência familiar à produção em grande escala – capitalista, 2017. 53f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia), Universidade Federal do Tocantins, Araguaína, 2017.

PANSISELVAM, R.; MITHARWAL, S.; RANI, P.; SHANKER, M. A.; KUMAR, A.; ASLAM, R.; BARUT, Y. T.; KOTHAKOTA, A.; RUSTAGI, S.; BHATI, B.; SIDDIQUI, S. A.; SIDIQUI, M. W.; RAMNIWAS, S.; ALIYEVA, A.; KHANEGHAH, A. M. The influence of non-thermal technologies on color pigments of food materials: An updated review, Current Research in Food Science, v. 6, p.1-15, 2023.

RUDY, S.; DZIKI, D.; KRZYKOWSKI, A.; GAWLIK-DZIKI, U.; POLAK, R.; RÓZYLO, R.; KULIG, R. Influence of pre-treatments and freeze-drying temperature on the process kinetics and selected physico-chemical properties of cranberries (*Vaccinium macrocarpon* Ait.). LWT-Food Science and Technology, v. 63, n.1, p. 497-503, 2015.

SANTOS, B. A.; TEIXEIRA, F.; AMARAL, L. A.; RANDOLPHO, G. A.; SCHWARZ, K.; SANTOS, E. F.; RESENDE, J. T. V.; NOVELLO, D. Caracterização química e nutricional de polpa de frutas armazenadas sob congelamento. Revista da Universidade Vale do Rio Verde, v. 17, n. 1, p. 1-13, 2019.

SILVA, K. S.; GARCIA, C. C.; AMADO, L. R.; MAURO, M. A. Effects of edible coatings on convective drying and characteristics of the dried pineapple. Food and Bioprocess Technology, v. 8, p. 1465–1475, 2015.

STEINGASS, C. B.; VOLLMER, K.; LUX, P .E.; DELL, C.; CARLE, R.; SCHWEIGGERT, R. M. HPLC-DAD-APCI-MSn analysis of the genuine carotenoid pattern of pineapple (*Ananas comosus* [L.] Merr.) infructescence, Food Research International, v.127, jan.2020.

SZYMANOWSKI, M.; MANJABOSCO, G. J.; HENKE, D. A.; STRIEDER, L.; KORE, D.V.; DESCONSI, G. C. Comercialização e armazenamento do abacaxi em um estabelecimento comercial do município de Horizontina, RS, no ano de 2020 In: Salão do Conhecimento da Unijuí 2021, 7., 2021, Rio Grande do Sul. Anais online... Rio Grande do Sul: Unijuí, 2021. Disponível em: <https://www.publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaoconhecimento/article/view/20476/19192> Acesso em: 13 mai. 2026.

UENOJO, M.; JUNIOR, M. R. M.; PASTORE, G. M. Carotenóides: propriedades, aplicações e biotransformação para formação de compostos de aroma. Química Nova, v. 30, n. 3, p. 616–622, maio 2007.