

CINÉTICA DE SECAGEM CONVECTIVA DO MELÃO (*Cucumis Melo L.*) SUBMETIDO A SOLUÇÃO OSMÓTICA DE SACAROSE E SORBITOL ASSISTIDA POR BANHO ULTRASSÔNICO

Gustavo Maia de Brito Medeiros¹, Séfora Pereira da Silva¹,
Franklin Pessoa Aguiar², Genaro Zenaide Clericuzi³, Veruscka Araújo Silva⁴

Resumo: Na terceira posição no ranking de produção de frutas no mundo, o Brasil produz uma média superior a 40 milhões de toneladas nos últimos anos. Deste total, cerca de 12 milhões são desperdiçados, principalmente por falhas de armazenamento e transporte, gerando grandes impactos econômicos e ambientais. A secagem é uma operação tradicional de conservação do alimento, que aumenta a sua vida útil através da evaporação de água e conseqüente diminuição da atividade de água, reduzindo o peso e o volume. A desidratação osmótica é um pré-tratamento, consiste em colocar o alimento em solução hipertônica antes de iniciar o processo de secagem, reduz parcialmente a umidade do mesmo e estudos recentes utilizam o processo com o ultrassom para acelerar a desidratação. Neste trabalho, foi estudado a desidratação osmótica do melão (*Cucumis melo L.*) como pré-tratamento utilizando dois tipos de soluções a de sacarose e sorbitol sem e com o efeito do ultrassom, seguida de secagem convectiva forçada, bem como acompanhar os sólidos solúveis totais do melão durante o processo, determinar a atividade de água e o coeficiente de difusão da secagem convectiva. A metodologia utilizada neste trabalho foi descascar e cortar o melão em partes semelhantes, de dimensões 1,5x1,5x0,5cm, para submeter a desidratação osmótica em dois tipos de soluções osmóticas de sacarose e sorbitol nas concentrações de 30, 40 e 50 °Brix, tempos de imersão de 10, 20 e 30 minutos com e sem o efeito do ultrassom seguido da secagem convectiva em estufa. As variáveis obtidas durante a desidratação osmótica foram os sólidos solúveis totais, a cinética durante a secagem convectiva, a atividade de água após a secagem, em seguida foi realizada a aplicação do modelo de Fick com

1 Bacharel em Engenharia Química – Universidade Federal da Paraíba – UFPB.

2 Doutor em Química – Universidade Federal da Paraíba – UFPB.

3 Doutor em Ciências e Engenharia de Materiais – Universidade Federal da Paraíba – UFPB – genaro@ct.ufpb.br

4 Doutora em Engenharia de Processos – Universidade Federal da Paraíba – UFPB.

4 termos da serie na cinética de secagem convectiva para encontrar o coeficiente de difusão. Os resultados mostraram que o ganho de sólidos é, em geral, influenciado pela concentração da solução, tipo de solução osmótica, seguidos do tempo de imersão das amostras e principalmente o efeito do ultrassom, apresentando maior ganho nas amostras imersas em sorbitol do que sacarose, com ênfase na solução de 50 °Brix imersa por 30 minutos, completando que quanto mais concentrada a solução, maior o ganho de sólidos do produto e, conseqüentemente, menor o teor de umidade da fruta. As amostras após a secagem apresentaram valores de atividade de água iguais ou abaixo de 0,3, sendo bastante favorável à estabilidade dos alimentos. O modelo difusional simplificado com quatro termos para geometria plana apresentou um bom ajuste aos dados experimentais, tendo o maior coeficiente de difusão na solução de sorbitol sem efeito do ultrassom na concentração de 30 °Brix por 10 minutos ($1,67 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$) e índice de correlação de 0,982. O uso do pré-tratamento osmótico mostrou-se eficaz na redução de água, levando a uma diminuição na taxa de umidade da amostra.

Palavras-chave: Modelo difusional, Pré-Tratamento, Ganhos de Sólidos e Frutas.

1. INTRODUÇÃO

O agronegócio é um dos principais setores da economia brasileira e a fruticultura uma das áreas mais lucrativas devido principalmente ao consumo interno e as exportações de seus produtos. O Brasil é o terceiro produtor de frutas no mundo, ficando atrás apenas de China e Índia, o que mostra a relevância do setor para a economia brasileira (AGRONEGÓCIO, 2015, LIMA, 2022). Por ser um dos principais produtores de frutas mundial, possui potencial para a exportação destes produtos, tendo como seu principal mercado a União Europeia, mas com projeção de aumento quando a China se tornar um dos principais importadores de frutas do país. A fruta mais embarcada para a Europa em valor foi o melão, com US\$ 143,509 milhões (ANUÁRIO, 2017 e 2022). O melão (*Cucumis melo L.*) é muito apreciado e de popularidade crescente no Brasil e no mundo, sendo consumido em larga escala na Europa, Japão e Estados Unidos, é rico em vitaminas A, B, B2, B5 e C, sais minerais como potássio, sódio e fósforo, apresenta valor energético relativamente baixo e pode ser consumido in natura ou na forma de suco (SENAR, 2007; ANUÁRIO, 2017 e 2022). A produção da fruta destaca-se nos estados do Ceará e do Rio Grande do Norte. Embora as condições climáticas ideais encontrem-se no Nordeste, pode-se também produzir melão em qualquer parte do país (SENAR, 2010; SILVA, et.al 2022). Segundo o Anuário (2022), de acordo com as últimas safras, a cadeia produtiva estima uma ampliação de cerca de 10% ao ano. Isso representa em torno de 2 mil novos hectares anuais.

A cadeia produtiva de frutas e hortaliças é relevante para a economia do país gerando várias oportunidade de negócios e empregos, porém apresenta obstáculos em razão da sua complexidade de armazenamento e transporte, assim como novas tecnologias para a produção. Dias (2003) estima que no Brasil o desperdício de alimentos oscile entre 40 e 80%. Deste total, 10% ocorrem durante a colheita, 50%, no manuseio e transporte dos alimentos, 30%, nas

centrais de abastecimento e os últimos 10% ficam diluídos entre supermercados e consumidores (SANTOS, et. al, 2020). No intuito de preservar a qualidade e os nutrientes dos alimentos, a método mais aplicado é o processo de secagem (ARAÚJO, 2005), uma vez que a remoção de água dos alimentos impede o crescimento de micro-organismos e restringindo o progresso das reações bioquímicas. Deste modo, reduzir o desperdício pelo processo de secagem é extremamente viável, no caso de excesso de produção (QUEIROZ, 1994).

Existem vários métodos para remover a umidade de um material. A secagem, por outro lado, é um processo pelo qual a umidade vaporizada e removida da superfície, às vezes sobre vácuo, mas normalmente por meio de um gás transportador que passa através ou sobre o material úmido. O calor pode ser adicionado de uma fonte externa, por convecção, condução e radiação ou o calor pode ser gerado internamente no sólido por meio dielétricos. Qualquer que seja o modo de aquecimento, a umidade é removida na forma de vapor. No entanto, a secagem de materiais particulados representa uma operação que consome muita energia e tem algum significado industrial. Na maioria dos países industrializados, entre 7 e 15% da energia industrial de uma nação é utilizada na secagem. (KEEY, 1992). A desidratação osmótica é um método bem conhecido para a remoção parcial de umidade dos alimentos (PINTO et al, 2021). O grande potencial desta tecnologia teve início em 1966, com Ponting e colaboradores, na desidratação osmótica de maçãs para reduzir o teor de água e melhorar a qualidade do fruto, como pré-tratamento ao processo de secagem convectiva (CORRÊA, 2012). O processo consiste basicamente na remoção do conteúdo de água do produto com um aumento simultâneo de sólidos por efeito da pressão osmótica, o que ocorre por imersão do alimento em uma solução hipertônica, agente desidratante, por um certo tempo e temperatura específicos (RAOULT-WACK, 1994). Apresenta alguns benefícios, como reduzir os danos do calor ao sabor, cor, inibir o escurecimento enzimático e diminuir os custos de energia (CHAVES; JÚNIOR; CASTRO, 2021). Em trabalhos recentes tem-se estudados o uso simultâneo da desidratação osmótica com outra tecnologia que é o ultrassom para aumentar a transferência de massa e reduzir a taxa de secagem através do aumento da permeabilidade das membranas celulares (PINTO et. al, 2023).

O objetivo do trabalho foi estudar o efeito do pré-tratamento osmótico do melão (*Cucumis melo L.*) para as soluções de sacarose e sorbitol com e sem o efeito do ultrassom, seguida da secagem convectiva forçada em estufa. Ao final do pré-tratamento osmótico foi observado o processo de desidratação os sólidos solúveis totais. E após a secagem convectiva foi analisada atividade de água e aplicado o modelo difusional de Fick para determinar o coeficiente de difusão.

2. METODOLOGIA

Para a realização dos experimentos, foi utilizado o melão (*Cucumis melo L.*) do tipo japonês, inicialmente o teor de sólidos solúveis de 4,2 °Brix. O melão foi descascado, partido ao meio e retirado as sementes, com ajuda de uma matriz de alumínio com dimensões definidas, foi cortado em partes semelhantes, de dimensões 1,5x1,5x0,5cm. As amostras foram secas com papel toalha, pesadas e transferidas para béqueres.

As soluções desidratantes foram preparadas com água destilada nas concentrações de 30, 40 e 50 °Brix (massa de soluto/massa de solução). A desidratação osmótica foi realizada a temperatura ambiente (28 °C), nos tempos de imersão de 10, 20 e 30 minutos, completando 7 experimentos para cada tipo de solução osmótica: sacarose e sorbitol, sem e com o efeito do ultrassom, totalizando 28 experimentos conforma as condições e siglas apresentados na Tabela (1).

Tabela 1 – Planejamento dos experimentos e siglas utilizadas para as soluções osmóticas sem e com o efeito do banho ultrassom

Tratamento	Concentração da solução (°Brix)	Tempo de imersão (min.)	Desidratação osmótica: DO			
			Sem Ultrassom		Com Ultrassom: U	
			Sacarose	Sorbitol	Sacarose	Sorbitol
1	30	10	DO Sac	DO Sor	DOU Sac	DOU Sor
2	50	10	DO Sac	DO Sor	DOU Sac	DOU Sor
3	30	30	DO Sac	DO Sor	DOU Sac	DOU Sor
4	50	30	DO Sac	DO Sor	DOU Sac	DOU Sor
5	40	20	DO Sac	DO Sor	DOU Sac	DOU Sor
6	40	20	DO Sac	DO Sor	DOU Sac	DOU Sor
7	40	20	DO Sac	DO Sor	DOU Sac	DOU Sor

Fonte: O autor.

O preparo das soluções osmóticas de sacarose e sorbitol foram pesados em balança semi-analítica da marca Shimadzu, em béqueres de 1000 mL, adicionando-se água destilada para obtenção da concentração desejada na solução. Os béqueres foram agitados com o auxílio de um bastão para facilitar a dissolução do soluto. Com uma proveta graduada, foram transferidos 60 mL de cada solução para os béqueres que contêm as amostras selecionadas, sem e com a aplicação do banho ultrassônico de frequência de 20 kHz (UNIQUE,

modelo 1650), na temperatura ambiente, onde passarão pelo tempo estabelecido mediante o planejamento experimental de acordo com as Tabela 1. Ao final de cada processo as amostras foram lavadas e a água residual superficial foi removida e as amostras seguiram para a secagem convectiva em estufa e outas para análise.

Após a desidratação osmótica, as amostras foram lavadas com água destilada e retirado o excesso da água residual superficial, e em seguida pesadas em vidros de relógio, onde foram colocadas em uma estufa de circulação e renovação de ar SL 102/ 221 da marca Solab com temperatura previamente estabelecida constante de 70 °C. Os vidros eram retirados e pesados em intervalos de tempo regulares, com ajuda de uma forma de alumínio, até obter o peso constante. O produto final obtido foi retirado dos recipientes com auxílio de espátulas, sendo acondicionados em sacos de polietileno e fechados para realização de análises posteriores.

O teor de sólidos solúveis totais (SST), expresso em °Brix, das amostras *in natura* e após a desidratação osmótica foram obtidas através do método proposto pela AOAC (1990), por meio de um refratômetro da marca NOVA WYA, ABBE digital de bancada. O aparelho foi calibrado com água destilada. Em seguida, uma alíquota da amostra diluída e triturada foi colocada sobre o prisma, obtendo-se a leitura direta no índice refratométrico indicado pelo aparelho.

Cerca de 3g das amostras de frutas *in natura* foi triturada e diluída em 10ml de água destilada, onde o pH da suspensão foi determinado diretamente em um pHmetro digital portátil da marca AKSO.

Foi utilizado o método gravimétrico para a determinação da umidade do melão *in natura*. Inicialmente pesou-se cerca de 1g do melão em três cadinhos de porcelana e os mesmos foram levados à estufa, modelo SL-100 da marca Solab, na temperatura de 105 °C por 24 horas. Em seguida, os cadinhos foram pesados em balança analítica AD200, da fabricante Marte, conhecendo-se assim a massa de sólido seco, utilizada para calcular o teor de umidade em base seca, através da Equação (1) nos experimentos de cinética de secagem.

$$X_{(b.s)} = \frac{(m_i - m_f)}{m_{ss}} \quad (1)$$

Sendo: $X_{(b.s)}$ = teor de umidade em base seca, m_i = massa inicial do material, m_f = massa final do material e m_{ss} = massa de sólido seco do material.

A medição da atividade de água das amostras foi feita em triplicata, utilizando um medidor de atividade de água da marca Novasina LabMaster AW , com precisão de +/- 0,003 à temperatura de 25 °C.

Para a utilização do modelo difusional considerou-se a geometria das amostras de melão como uma placa plana infinita e utilizou-se modelo difusional de Fick para obtenção dos valores de difusividade efetiva estimada.

O coeficiente de difusão efetivo (*Def*) em (cm²/s.), os valores dos parâmetros do modelo difusional de uma placa ($A = \frac{8}{\pi^2} = 0,8106$), que foi substituído por um parâmetro ajustável A, e os coeficientes de correlação (*R*²) foram determinados por regressão não-linear utilizando o modelo de Fick com quatro termos da série e a razão de umidade $Y = [(X-X_e)/(X_o-X_e)]$ obtida experimentalmente na Equação (2), não levando em consideração o encolhimento durante a secagem convectiva, conforme a metodologia utilizada por (SILVA, 2004).

$$Y = \frac{X-X_e}{X_o-X_e} = -\frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp \left[-(2n-1)^2 \frac{\pi^2 D_{ef} t}{4L^2} \right] \quad (2)$$

Onde: *Y*: Conteúdo adimensional de umidade; *X*: Conteúdo de umidade (Kg água/Kg massa seca); *X_e*: Conteúdo de umidade de equilíbrio (kg água/kg massa seca); *X_o*: Conteúdo de umidade de inicial (kg água/kg massa seca); *i*: Número de termos na série; *Def*: Coeficiente de difusão efetivo (cm²/s); *t*: Tempo (s.); *L*: Espessura da amostra (cm).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As caracterizações dos melões *in natura* utilizados nos ensaios encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2- Propriedade do melão *in natura*

Variável	Média	Desvio Padrão
pH	6,13	0,02
Sólidos Solúveis totais (°Brix)	4,20	0,06
Teor de água (%)	95,80	0,03

Fonte: Autor.

No estudo de melões do tipo Amarelo Valenciano, Lima (2012) realizou testes com frutas com teor de sólidos solúveis de 12 °Brix e teor de água de aproximadamente 90%.

3.1 TEOR DE SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS

A Tabela 3 mostra o teor de sólidos solúveis totais (SST) após a desidratação osmótica das soluções de sacarose e sorbitol nas concentrações de (30, 40 e 50 °Brix), tempo de imersão (10, 20 e 30 min), com e sem o efeito do ultrassom, de acordo com o planejamento experimental fatorial completo 2² + 3 pontos centrais. A concentração do melão *in natura* foi de 4,2 °Brix, sendo a concentração inicial de todos os processos.

Tabela 3 – Teor de sólidos solúveis totais do melão após as soluções de sacarose e sorbitol com e sem ultrassom.

Concentração da solução (°Brix)	Tempo de imersão (min)	Teor de sólidos solúveis totais			
		DO Sac/ (°Brix)	DO Sor/ (°Brix)	DOU Sac/ (°Brix)	DOU Sor/ (°Brix)
30	10	5,9	7,2	6,8	8,2
50	10	7,4	8,7	8,1	9,6
30	30	7,4	10,4	9,1	11,3
50	30	9,7	14,4	13,1	13,6
40	20	8,1	10,1	9,9	11,0
40	20	7,9	10,1	9,9	11,1
40	20	8,0	9,8	10,0	11,0

Fonte: o autor.

A partir da Tabela 3, observa-se que os teores de sólidos solúveis totais após a desidratação osmótica tanto para a solução de sacarose como a de sorbitol com e sem o efeito do ultrassom aumentaram, em comparação a amostra *in natura*. Nota-se que para a desidratação osmótica de sacarose e sorbitol assistida por ultrassom foi observado um maior teor de sólidos solúveis totais para a desidratação osmótica de sorbitol do que soluções de sacarose, este fato também foi observado nas soluções de sacarose e sorbitol sem ultrassom, esse efeito pode estar associado ao tamanho do soluto do sorbitol, que possui baixa massa molecular em comparação a solução de sacarose, que possui maior massa molecular, fato observado por (Raoult-Wack, 1994) e também por (Justus, 2012) que observou que na desidratação osmótica com água mineral e três agentes osmóticos distintos (sacarose, cloreto de sódio e maltodextrina) o baixo peso molecular com o cloreto de sódio favoreceu seu incremento no interior do fruto com relação à sacarose, de alto peso molecular, e também a possível mudança ocasionada na estrutura da fruta durante o processo de desidratação osmótica assistida por ultrassom. Nota-se também que para as duas soluções quanto mais concentradas a solução (maior °Brix), maior o teor de sólidos solúveis totais do produto submetido a desidratação osmótica.

Pode-se observar que com relação aos sólidos solúveis totais, na Tabela 3, que quando as concentrações das soluções aumentam e também os tempos de imersão com e sem o efeito do ultrassom ocorreu um aumento do ganho de sólidos.

Os valores obtidos no presente trabalho são semelhantes àqueles obtidos por Souza Neto et al. (2005), que, em trabalho de desidratação osmótica de manga, verificaram que o aumento da concentração da solução desidratante promoveu aumento no teor de sólidos solúveis e que esse aumento foi

diretamente proporcional a duração do processo. Entretanto, os autores ressaltaram que soluções com concentrações maiores que 75 °Brix tornam-se inapropriadas ao processamento devido aos limites de solubilidade do agente utilizado, formação de filme, dificultando o preparo da solução, além da alta viscosidade, o que dificulta a sua manipulação. Outro fato que também pode relacionar este ganho de sólidos durante o tratamento osmótico de pouco tempo de imersão (10, 20 e 30 min) foi o banho com ultrassom, em estudos recentes utilizando o pré-tratamento com a ultrassom antes da desidratação osmótica de fatias de kiwi foi observado que o processo de ultrassom rompeu as células densas que levaram a uma separação distinta das células, resultando em modificações das estruturas com formação de microcanais que potencializam a remoção de umidade e impregnação de sólidos (Prithani & Dash, 2020).

3.2 ATIVIDADE DE ÁGUA (A_w)

A Tabela 4 mostra as atividades de água após a secagem convectiva das amostras submetida à desidratação osmótica em solução de sacarose e sorbitol com e sem o efeito do ultrassom.

Tabela 4 – Atividade de água após a secagem convectiva das amostras submetida a desidratação osmótica.

Concentração da solução (°Brix)	Tempo de imersão (min)	Atividade de água: A_w			
		DO sac	DO sor	DOU sac	DOU sor
30	10	0,209	0,232	0,293	0,284
50	10	0,399	0,242	0,273	0,211
30	30	0,267	0,241	0,238	0,233
50	30	0,257	0,207	0,300	0,238
40	20	0,300	0,296	0,293	0,284
40	20	0,356	0,318	0,238	0,211
40	20	0,456	0,399	0,300	0,203

Fonte: o autor.

Todas as amostras apresentaram valores de atividade de água iguais ou abaixo de 0,3, sendo bastante favorável à estabilidade dos alimentos. Segundo Labuza (1980), alimentos com atividade de água inferiores a 0,6 são considerados micro biologicamente estáveis. Borin et al. (2008) obtiveram resultados semelhantes na desidratação seguida de secagem convectiva da abóbora.

Portanto, observa-se que o valor da atividade de água do melão foi afetado pelas concentrações das soluções e tempo de imersão do melão, onde em sua maioria os melhores valores foram obtidos nas soluções de sorbitol.

3.3. AJUSTE DO MODELO DIFUSIONAL

Os coeficientes de difusão efetivos dos melões desidratados em soluções de sacarose e sorbitol com e sem o efeito do ultrassom foram determinados a partir da Equação (2), correspondente ao modelo difusional de Fick, sem efeito do encolhimento. Observou-se que os quatro primeiros termos da série foram necessários para obter o coeficiente de difusão, onde o valor de $(A = 8/p^2 = 0,8106)$ corresponde à geometria de placa plana.

A Tabela (5) mostra os valores do coeficiente de difusão da secagem convectiva (Def), parâmetro (A) e os coeficientes de correlação (R^2) obtidos através da Equação 2. Observa-se, através da Tabela 5, que o valor médio obtido para o parâmetro A é de 0,948, nas tentativas com os números de termo da série, verificou-se que o valor de A aproxima-se de $(8/p^2=0,8106)$, apresentando uma diferença entre o valor teórico e experimental de 13,87%. Além disso, os experimentos apresentaram bons ajustes, com coeficientes de correlação acima de 0,962.

Resultado semelhantes foram encontrados por Silva (2004) na desidratação osmótica da acerola utilizando o modelo difusional da esfera onde o valor médio foi de $A=0,66$ com diferenças entre o valor teórico e experimental de 8,63%. Logo, o desvio encontrado é aceitável.

Tabela 5 - Valores dos coeficientes de difusão efetivo Def , parâmetro A e coeficiente de correlação R^2 , para o modelo difusional com quatro termos.

Conc. (°Brix)	Tempo (min)	Desidratação osmótica sem ultrassom (DO)						Desidratação osmótica com ultrassom (DOU)					
		Sac		Sor		R ²		Sac		Sor		R ²	
		A = 8/p ²		D _e (cm ² /s)		R ²		A = 8/p ²		D _e (cm ² /s)		R ²	
30	10	0,95180	0,93640	0,00146	0,00167	0,97100	0,98200	0,95640	0,95460	0,00104	0,00134	0,97350	0,98120
50	10	0,97490	0,97450	0,00100	0,00110	0,96290	0,96670	0,94330	0,92890	0,00097	0,00092	0,98580	0,98640
30	30	0,92960	0,93410	0,00125	0,00125	0,97910	0,98010	0,96250	0,95460	0,00134	0,00103	0,97740	0,98120
50	30	0,94820	0,94380	0,00078	0,00088	0,97270	0,98360	0,95920	0,93900	0,00127	0,00094	0,98330	0,97950
40	20	0,95210	0,95730	0,00109	0,00123	0,97866	0,95250	0,93500	0,93540	0,00096	0,00129	0,98340	0,98660
40	20	0,93190	0,93160	0,00085	0,00106	0,97805	0,98107	0,98470	0,94150	0,00110	0,00160	0,96150	0,98300
40	20	0,94510	0,93250	0,00100	0,00093	0,97797	0,98009	0,96100	0,94040	0,00129	0,00099	0,97610	0,97930

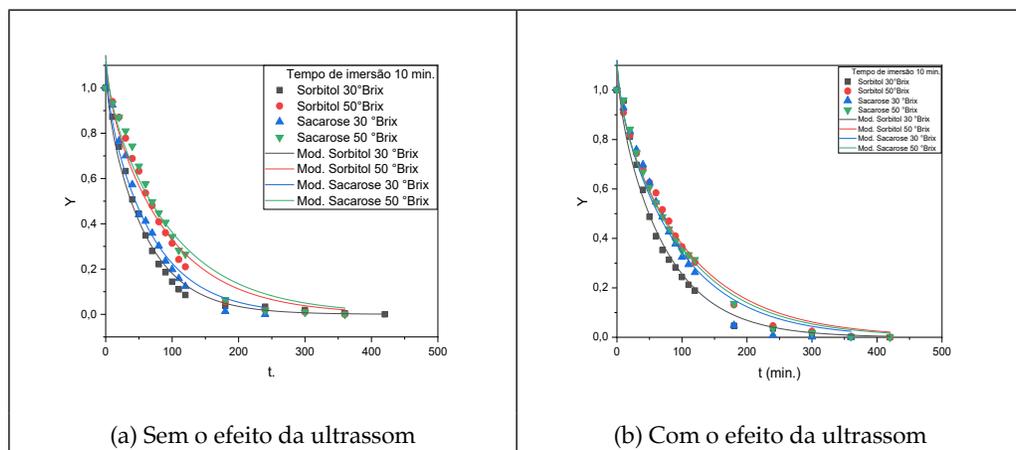
Fonte: o autor

3.3.1 Para o pré-tratamento no tempo de 10 minutos

Os ajustes do modelo difusional de Fick com 4 termos da série aos dados experimentais da secagem convectiva nas amostras submetida a desidratação osmótica sem e com o efeito do ultrassom em concentrações de sacarose e

sorbitol de 30 e 50° Brix e tempo de imersão de 10 minutos, estão apresentados nas Figuras 1(a) e (b).

Figura 1- Modelo difusional da secagem convectiva após a desidratação osmótica de sacarose e sorbitol do melão sem e com o efeito do ultrassom submetido às concentrações de 30 e 50 °Brix no tempo de imersão de 10 minutos.



Fonte: o autor.

O valor teórico do parâmetro A da Equação 2 é 0,8106 e o valor médio obtido, utilizando os dados da Tabela 5 para o parâmetro A, apresentaram desvios de 19% e 18% para a sacarose e sorbitol sem o efeito do ultrassom, respectivamente. Analisando os dados com o efeito do ultrassom, o valor médio obtido para o parâmetro A é 17% e 16% para a sacarose e sorbitol, respectivamente. Os autores (Baroni e Hubinger, 1996), em seus estudos encontraram valores dos desvios de 13,6%, para a desidratação osmótica da cebola, considerando uma placa plana. Desse modo, o desvio encontrado no trabalho é aceitável, considerando o não encolhimento durante a secagem convectiva.

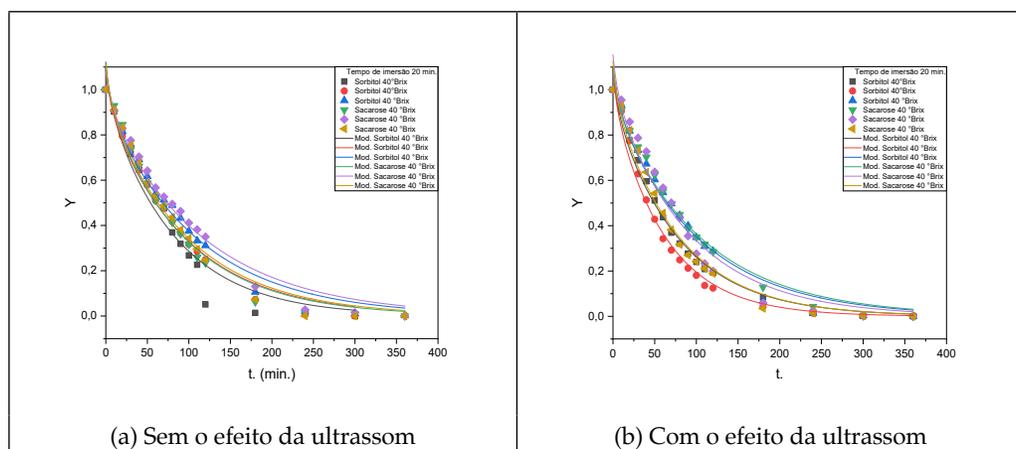
Analisando os coeficientes de difusão, para o tempo de 10 minutos, das amostras submetidas ao tratamento osmótico sem o efeito do ultrassom, a partir da Tabela 5, pode-se observar que com a concentração de 30 °Brix os valores para o sorbitol e sacarose são 0,00167 e 0,00146 cm^2/s , respectivamente, correspondendo maiores do que para a concentração de 50 °Brix. Do mesmo modo, acontece com o efeito do ultrassom com a concentração de 30 °Brix os valores para o sorbitol e sacarose são 0,00134 e 0,00104 cm^2/s , respectivamente. Importante observar que sem o efeito do ultrassom com a concentração de 30 °Brix o valor para o sorbitol é maior, comparando com as outras variáveis estudadas, esta condição segundo (Silva, 2004) observou que em concentração mais elevada da desidratação osmótica não favoreceu a perda de umidade, provavelmente devido à alta viscosidade da solução osmótica e uma provável

formação de um filme de sacarose na superfície da acerola que pode ter dificultado a difusão da água para a solução.

3.3.2 Para o pré-tratamento no tempo de 20 minutos

Com os dados experimentais, Tabela 5, da secagem convectiva nas amostras submetida a desidratação osmótica sem e com o efeito do ultrassom em concentrações de sacarose e sorbitol de 40 °Brix e tempo de imersão de 20 minutos, geraram ajustes no modelo difusional de Fick com 4 termos da série que estão expostos nas Figuras 2 (a) e (b).

Figura 2 - Modelo difusional da secagem convectiva após desidratação osmótica de sacarose e sorbitol do melão submetido à concentração de 40 °Brix no tempo de imersão de 20 minutos.



Fonte: o autor.

O valor teórico do parâmetro A da Equação 2 é 0,8106 e o valor médio obtido, utilizando os dados da Tabela 5 para o parâmetro A apresentaram desvios de 0,17% e 0,15% para a sacarose e sorbitol sem o efeito do ultrassom, respectivamente. Analisando os dados com o efeito do ultrassom, o valor médio obtido para o parâmetro A é 0,19% e 0,16% para a sacarose e sorbitol, respectivamente. Os resultados estão de acordo com a literatura (BARONI e HUBINGER, 1996).

Existem vários métodos para remover a umidade de um material. A secagem, por outro lado, é um processo pelo qual a umidade vaporizada e removida da superfície, às vezes sobre vácuo, mas normalmente por meio de um gás transportador que passa através ou sobre o material úmido. O calor pode ser adicionado de uma fonte externa, por convecção, condução e radiação ou o calor pode ser gerado internamente no sólido por meio dielétricos. Qualquer que seja o modo de aquecimento, a umidade é removida na forma de vapor.

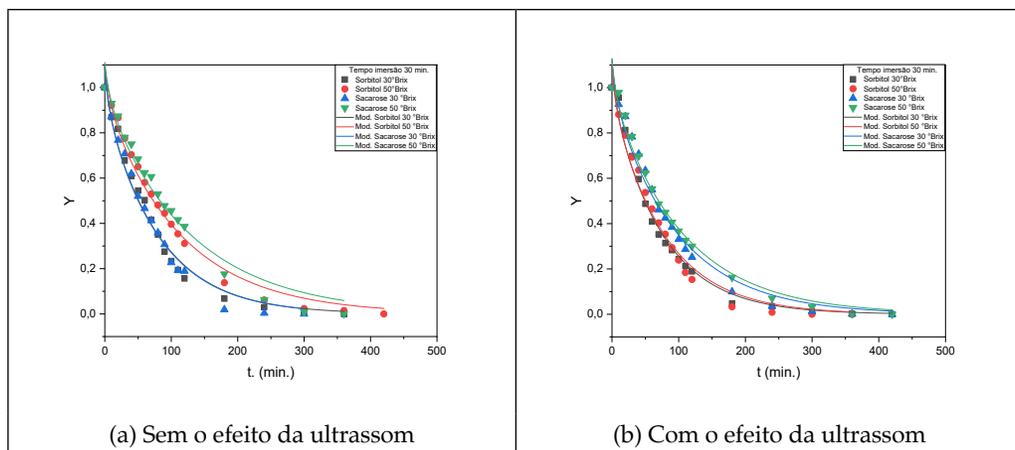
No entanto, a secagem de materiais particulados representa uma operação que consome muita energia e tem algum significado industrial. Na maioria dos países industrializados, entre 7 e 15% da energia industrial de uma nação é utilizada na secagem. (KEEY, 1992). A desidratação osmótica é um método bem conhecido para a remoção parcial de umidade dos alimentos (PINTO et al, 2021). O grande potencial desta tecnologia teve início em 1966, com Ponting e colaboradores, na desidratação osmótica de maçãs para reduzir o teor de água e melhorar a qualidade do fruto, como pré-tratamento ao processo de secagem convectiva (JUSTUS, 2012). O processo consiste basicamente na remoção do conteúdo de água do produto com um aumento simultâneo de sólidos por efeito da pressão osmótica, o que ocorre por imersão do alimento em uma solução hipertônica, agente desidratante, por um certo tempo e temperatura específicos (RAOULT-WACK, 1994). Apresenta alguns benefícios, como reduzir os danos do calor ao sabor, cor, inibir o escurecimento enzimático e diminuir os custos de energia (CHAVES; JÚNIOR; CASTRO, 2021). Em trabalhos recentes tem-se estudados o uso simultâneo da desidratação osmótica com outra tecnologia que é o ultrassom para aumentar a transferência de massa e reduzir a taxa de secagem através do aumento da permeabilidade das membranas celulares (PINTO et. al, 2023).

Em diversos estudos a utilização do ultrassom durante a desidratação osmótica melhora as condições de procedimento. Segundo o estudo de (Justus , 2012) foi constatado o efeito do ultrassom na desidratação osmótica do tomate que acelera e facilita a transferência de massa, ocasionando uma intensa alteração na estrutura celular.

3.3.3 Para o pré-tratamento no tempo de 30 minutos

Nas Figuras 3 (a) e (b), é possível observar modelo difusional de Fick com 4 termos da série aos dados experimentais da secagem convectiva nas amostras submetida a desidratação osmótica sem e com o efeito do ultrassom em concentrações de sacarose e sorbitol de 30 e 50° Brix e tempo de imersão de 30 minutos.

Figura 3 - Modelo difusional da secagem convectiva após a desidratação osmótica de sacarose e sorbitol do melão submetidos às concentrações de 30 e 50 °Brix no tempo de imersão de 30 minutos.



Fonte: o autor.

O valor teórico do parâmetro A da Equação 2 é 0,8106 e o valor médio obtido, utilizando os dados da Tabela 5 para o parâmetro A apresentaram desvios de 0,16% e 0,16% para a sacarose e sorbitol sem o efeito do ultrassom, respectivamente. Analisando os dados com o efeito do ultrassom, o valor médio obtido para o parâmetro A é 0,19% e 0,17% para a sacarose e sorbitol, respectivamente. Os autores (Baroni e Hubinger, 1996), em seus estudos encontraram valores dos desvios de 13,6%, para a desidratação osmótica da cebola, considerando uma placa plana. Desse modo, o desvio encontrado no trabalho é aceitável, considerando o não encolhimento durante a secagem convectiva. Os valores encontrados na literatura estão em concordância com a literatura (BARONI e HUBINGER, 1996).

Comparando os coeficientes de difusão das amostras submetidas ao tratamento osmótico em soluções de sacarose sem o efeito do ultrassom com as soluções de sacarose com efeito do ultrassom, nas concentrações de 30 e 50 °Brix para o tempo de imersão de 10 minutos pode-se observar que as amostras sem o efeito do ultrassom apresentaram maior coeficiente de difusão. Este efeito também foi observado para as amostras submetidas ao tratamento osmótico com sorbitol. Com exceção para a condição de (50 °Brix e 30 minutos), onde podemos notar maiores coeficientes de difusão para os tratamentos em solução de sacarose e sorbitol com o efeito do ultrassom em comparação as amostras sem o efeito do ultrassom. Isto pode está diretamente ligado as maiores concentrações que podem ocasionar à formação de um filme na superfície das amostras dificultado a difusividade e que pode ser eliminada com o efeito do ultrassom. Segundo Fernandes, Linhares e Rodrigues (2008), esse comportamento se deve ao fato da alta resistência da difusão da água

causada pela alta concentração de açúcar incorporado pelo fruto, formando uma barreira, dificultando o fluxo da água do produto para a solução durante o pré-tratamento. Os mesmos autores observaram uma diminuição da difusividade no abacaxi quando utilizaram uma solução osmótica de 70 °Brix após 30 minutos de tratamento em banho ultrassônico, quando comparado com os resultados obtidos com a solução de 35 °Brix, no mesmo tempo de tratamento. Podendo-se comprovar que quanto menor incorporação de sólidos durante a desidratação osmótica pode possibilitar maior coeficiente de difusão efetiva e quanto maior a incorporação de sólidos menor o coeficiente de difusividade efetiva.

Constata-se, na Tabela 5, que maiores valores dos coeficientes de difusividades foram encontrados para as soluções osmóticas de sorbitol e sacarose (30 °Brix, 10 minutos) sem o efeito do ultrassom, os coeficientes de difusão encontrados foram de 0,00167 e 0,00146 cm^2/s , respectivamente. Este fato pode estar associado a menor concentração da solução osmótica e tempo de imersão, pois em soluções mais concentradas pode ocasionar a formação de um filme na superfície das amostras dificultado a difusividade.

Na Tabela 5 foi possível observar que para maiores tempos de imersão de 30 minutos nas mesmas concentrações de 30 e 50 °Brix os valores dos coeficientes de difusividades encontrados para as soluções de sacarose e sorbitol sem o efeito do ultrassom, foram maiores para as concentrações menores em comparação a maior concentração das soluções com valores de 0,00125 e 0,00125 cm^2/s , e 0,00078 e 0,00088 cm^2/s respectivamente. Este fato pode estar associado a maior concentração da solução osmótica, pois este contato nas soluções osmóticas mais concentradas pode ocasionar a formação de um filme na superfície das amostras dificultado a difusividade.

Comparando isoladamente o coeficiente de difusão dos tratamentos em solução osmótica de sacarose e sorbitol nas concentrações menores de 30 °Brix e tempo de imersão de 30 minutos sem e com o efeito do ultrassom, praticamente os coeficientes de difusão permaneceram da mesma ordem, respectivamente. Nesta mesma condição, para as soluções de sorbitol com efeito do ultrassom foi observado um maior coeficiente de difusão em comparação as amostras desidratadas com sacarose com efeito do ultrassom. No geral, pode-se observar que as amostras tratadas com solução de sacarose sem o efeito do ultrassom apresentaram menores coeficientes de difusão em comparação às outras amostras de sorbitol sem ultrassom. Para as amostras tratadas com a sacarose nas concentrações de (30 e 50 °Brix) e tempos de imersão 30 minutos e para apenas uma repetição do experimento com a concentração de 40 °Brix e tempo de imersão 20 minutos sobre o efeito do ultrassom foi observado um maior coeficiente de difusão, a ultrassom pode ter ocasionado modificações na estrutura das amostras facilitando a difusão. Segundo (Fernandes, Galão & Rodrigues, 2008) em seus estudos observaram que o efeito do ultrassom apresentaram canais microscópicos na estrutura celular e podem ser responsável pelo aumento na difusividade da água. Em estudos recentes de

(Bozkir et al., 2019) estudaram que a aplicação de desidratação osmótica (30 °C, 45 °Brix) do caqui assistida por ultrassom foi realizada a 35 kHz por 10, 20 e 30 minutos antes da secagem com ar quente aumentou a taxa de secagem e a difusividade efetiva da água. E também em estudos de (Li et al., 2021) para a ameixa Sanhua tratada com desidratação osmótica de sacarose assistida por ultrassom apresentou tempo de secagem reduzido e difusividade efetiva de água aumentada.

A desidratação osmótica é um método bem conhecido para a análise parcial da remoção de umidade dos alimentos (Pinto et. al, 2023). Com isto é possível identificar qual solução osmótica seria viável e mais econômica levando em consideração obter-se um produto diferenciado, com o uso de açúcar de baixa caloria (sorbitol) como opção para diabéticos e demais consumidores (LIMA, 2012). Este processo de desidratação osmótica como pré-tratamento combinada com o efeito do ultrassom segundo a revisão proposta por Pinto et. al, (2023) resulta na redução significativa de água na fruta. Este estudo visa melhorar as características de frescor do produto natural, como a estabilidade na cor, minimiza a degradação de nutrientes, melhor qualidade na textura, redução do consumo de energia e possibilita a obtenção de novos produtos que pode ser disponibilizado em todas as estações do ano (Pinto et. al, 2023).

Os resultados obtidos neste trabalho mostraram que a secagem convectiva realizada após a desidratação osmótica com a solução de sorbitol na concentração de 30 °Brix em 10 minutos de imersão sem o efeito do ultrassom apresentou um maior coeficiente de difusão conforme apresentado na Tabela 5. A Figura 1 (a) comprova que a cinética de secagem convectiva foi bem mais rápida, onde podemos observar que em aproximadamente em 100 minutos da secagem o conteúdo adimensional de umidade foi da ordem de 0,15, comparando com os demais gráficos e as cinéticas das outras condições estudadas para este mesmo tempo de secagem convectiva os conteúdos adimensionais de umidade ficaram igual e acima de 0,2. O que mostra que diante do estudo esta condição foi a melhor condição por ser a mais econômica, pois este resultado reduziu o tempo de secagem diminuindo e desta forma o consumo de energia na secagem convectiva, possibilita a obtenção de um produto que pode ser disponibilizado em todas as estações do ano.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi estudado a desidratação osmótica do melão, como pré-tratamento de secagem, seguido de secagem convectiva forçada. Verificou-se que a variável concentração da solução foi a que exerceu maior influência sobre a perda de umidade das amostras, seguida pelo tempo de imersão nas soluções. Aos 10 minutos de imersão, as curvas da cinética de secagem tiveram um comportamento semelhante, optando pelo melão pré-tratado em solução de sacarose (30 °Brix), por se tratar da solução de melhor custo-benefício. As

melhores soluções foram as de sorbitol 40 e 30 °Brix para as curvas de 20 e 10 minutos de imersão, com e sem o efeito do ultrassom, respectivamente.

O ganho de sólidos totais foi maior nas amostras imersas em soluções de sorbitol do que de sacarose, principalmente na solução de 50 °Brix imersa por 30 minutos, concluindo que quanto mais concentrada a solução, maior o ganho de sólidos do produto e, conseqüentemente, menor o teor de umidade da fruta.

Todas as amostras apresentaram valores de atividade de água iguais ou abaixo de 0,3, sendo bastante favorável à estabilidade dos alimentos. Foi observado que a atividade de água do melão foi afetada pelas concentrações das soluções e tempo de imersão do melão, onde os melhores valores em sua maioria foram obtidos nas soluções de sorbitol.

Foi possível observar, na modelagem aplicada à secagem convectiva do melão, que os maiores valores de difusividades foram encontrados com os experimentos realizados na desidratação osmótica em solução de sorbitol quando comparados aos resultados realizados em solução de sacarose, sendo o maior valor na solução de 30 °Brix por 10 minutos ($1,67 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$). As menores difusividades das soluções de sacarose e sorbitol foram para o tempo de 30 minutos e concentradas de sacarose (50 °Brix) sem o efeito do ultrassom, foram explicadas pela barreira formada pela alta resistência da difusão da água causada pela alta concentração de sólidos solúveis totais incorporados pelo fruto. O modelo difusional de Fick ajustou-se de forma efetiva aos pontos experimentais, obtendo índice de correlação entre 0,95 e 0,98.

Por fim, pode-se observar a partir dos dados apresentados, que a desidratação osmótica antes da secagem convencional além de ser uma alternativa de conservação, pode vir a se tornar uma tecnologia alternativa de processamento, de forma a obter-se um produto diferenciado, com o uso de açúcar de baixa caloria (sorbitol) como opção para diabéticos e demais consumidores (LIMA, 2012). que o uso do tratamento osmótico seguida do efeito da ultrassom pode ser eficaz na retirada de água, devido à diferença de pressão osmótica gerada entre o fruto e a solução, levando a uma diminuição na taxa de umidade da amostra.

REFERÊNCIAS

ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA (2017). Editora Gazeta – Anuários Brasileiros de Agronegócio, www.anuarios.com.br, acessado em 30/03/2018.

ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA 2015. Santa Cruz do Sul: Gazeta, 2015. 108p.

ARAGÃO, P. P.; LOSS, R. A.; SILVA, S. S.; GUEDES, S. F. Avaliação do potencial da utilização de pré-tratamento osmótico na produção de manga desidratada, 2017.

ARAUJO, L. C. Otimização da desidratação osmótica de jambo-vermelho (*Syrzygium malaccense*). Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 165p, 2009.

BORIN, I; FRASCARELI, E. C; MAURO, M. A; KIMURA, M. Efeito do pré-tratamento osmótico com sacarose e cloreto de sódio sobre a secagem convectiva da abóbora. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 28, p. 39-50, 2008.

BOZKIR, H, ERGÜN, A. R, SERDAR. E., METIN, G., BAYSAL, T., Influence of ultrasound and osmotic dehydration pretreatments on drying and quality properties of persimmon fruit, *Ultrasonics Sonochemistry*, Volume 54, 2019, Pages 135-141, <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.02.006>.

CHAVES, M. A.; JÚNIOR, H. C. M. S.; CASTRO, S. S. Técnica e aplicações da desidratação osmótica: uma revisão. *Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos*. V. 5, Cap. 30, p. 426-450. 2021.

CORRÊA, J. L. G. Influência da aplicação de ondas de ultrassom na desidratação osmótica de tomate (*Lycopersicon esculentum*) cv. Carmem. Dissertação (Dissertação de Mestrado em Ciências dos Alimentos). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

DIAS, M.C. Comida jogada fora. *Correio Braziliense*, 31 de Agosto de 2003. Disponível em: <http://www.consciencia.net/2003/09/06/comida.html>. Acesso em maio de 2018.

FERNANDES, F. A. N.; GALLÃO, I. M.; RODRIGUES, S. (2008). Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration. *LWT* 41 604–610.

FERNANDES, F. A. N; LINHARES, F. E; RODRIGUES, S. Ultrasound as pretreatment for drying of pineapple. *Ultrasonics Sonochemistry*. v. 15, p. 1049-1054, 2008.

FERREIRA, J. P. L., DEISE S. DE CASTRO, D. S., MOREIRA, I. S., SILVA, W. P., FIGUEIRÊDO, R. M. F., QUEIROZ, A. J. M., R. Convective drying kinetics of osmotically pretreated papaya cubes *Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.24, n.3, p.200-208, 2020

GOMES, P. M. Cultivo de Melão: Manejo, Colheita, Pós-colheita e Comercialização. Brasília: SENAR, 2007.

KEEY, R. B. Drying of loose and particulate materials. New Zealand, 1992. 504p.

JUSTUS, A., Influência da aplicação de ondas de ultrassom na desidratação osmótica de tomate (*Lycopersicon lycopersicum*) cv. Carmen. Lavras-MG. Dissertação em Ciências dos alimentos. (2012).

LABUZA, T.P. The Effect of Water Activity on Kinetics of Food Deterioration. *Food Technology*. Chicago, v.39, n.4, p.36-41, 1980.

LI, L., YU, Y.; XU, Y.; WU, J.; YU, Y.; PENG, J.; AN, K.; ZOU, B.; YANG, W., Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment on the drying characteristics and quality properties of Sanhua plum (*Prunus salicina* L.), *LWT*, Volume 138, 2021.

LIMA, J. P. R.; MIRANDA, E. A. Fruticultura Irrigada no Vale do São Francisco: Incorporação Tecnológica, Competitividade e Sustentabilidade. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 32, n. especial, p. 611-632, 2001.

PINTO, B. S., MELO, A. C. C., COSTA JUNIOR, E. F., COSTA, A. O. S., Novel technologies combined with osmotic dehydration for application in the conservation of fruits: an overview *Novas tecnologias combinadas com desidratação osmótica para aplicação na conservação de frutas: uma revisão*, *Ciência Rural*, Santa Maria, v.53:7, 2023.

PRITHANIA, R., DASH, K. K., Mass transfer modelling in ultrasound assisted osmotic dehydration of kiwi fruit, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, Volume 64, agosto de 2020.

QUEIROS. M.R. Estudo Teórico Experimental da Cinética de Secagem de Bananas. (1994). 176p. Universidade Estadual de Campinas, Campinas-São Paulo.

RAOULT-WACK, A. L. (1994) Recent advances in the osmotic dehydration of foods. *Trends in Food Science & Technology*, v.5, p. 225-260.

SANTOS, K. L., PANIZZON, J., CENCI, M. M., GRABOWSKI, G., JAHNO, V. D., Perdas e desperdícios de alimentos: reflexões sobre o atual cenário brasileiro *Food losses and waste: reflections on the current brazilian scenario*, *Braz. J. Food Technol.*, Campinas, v. 23, e2019134, 2020 |

SILVA, R. S., XAVIER, L. M. S., BATISTA, A. R. F., SILVA, M. G., SILVA, D. G., BRITO, L. A., MELLO, D. R., ALMEIDA, R. S. A., Diagnóstico bioclimático para produção de melão no município de Patos –PB, *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v.8, n.8, p.59140-59146, aug. 2022.

SILVA, V. A. Secagem osmo-convectiva da acerola. 2004. 176p. Tese (Tese de Doutorado em Engenharia de Processos). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2004.