



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

Ellyson Sergio de Paula Alves

**Cinética de secagem da beterraba por infravermelho e pré-tratamento com
ácido cítrico**

Recife

2023

ELLYSON SERGIO DE PAULA ALVES

**Cinética de secagem da beterraba por infravermelho e pré-tratamento com
ácido cítrico**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Coordenação do Curso de Graduação em
Engenharia Química da Universidade Federal
de Pernambuco, como requisito parcial à
obtenção do título Bacharel em Engenharia
Química.

Orientador: Prof. Dra. Patrícia Moreira Azoubel

Recife

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Alves, Ellyson Sergio de paula.

Cinética de secagem da beterraba por infravermelho e pré-tratamento com ácido cítrico / Ellyson Sergio de paula Alves. - Recife, 2023.

38

Orientador(a): Patrícia Moreira Azoubel

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Química - Bacharelado, 2023.

1. Beta vulgaris L. 2. secagem infravermelho. 3. conservação de alimentos. 4. pré-tratamento. 5. Análise de cor. I. Azoubel, Patrícia Moreira . (Orientação).
II. Título.

620 CDD (22.ed.)

ELLYSON SERGIO DE PAULA ALVES

Cinética de secagem da beterraba com e sem pré-tratamento com ácido cítrico

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a
Coordenação do Curso de Graduação em
Engenharia Química da Universidade Federal
de Pernambuco, como requisito parcial à
obtenção do título Bacharel em Engenharia
Química.

Aprovado em: 05/10/2023

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Patrícia Moreira Azoubel (Orientadora)

Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Me. João Henrique Fernandes da Silva

Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dra. Fernanda Araújo Honorato

Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus, que me auxiliou em todos os meus objetivos, durante todos os meus anos de estudos, Olorum e meu pai Oxalá sempre estiveram comigo, nunca estive só, epà babá.

Quero agradecer a minha família, minha mãe, pai e irmãos. principalmente ao meu irmão Eullys Alves por ter me incentivado a fazer engenharia, além de ter sido um exemplo para min Como homem e de vida.

Quero agradecer a minha orientadora Prof^a Dr^a Patrícia Moreira Azoubel, obrigado por tudo, pelas correções e ensinamentos que me permitiram melhorar, pela paciência de me ouvir sempre que disponível, não poderia pedir uma orientadora melhor, muito obrigado!

A Amanda Suellen Santana, João Henrique Silva e José Roberto Moura que me auxiliaram nesta pesquisa, me ensinando e ajudando diversas vezes, obrigado por tudo.

Aos meus amigos que sempre estiveram dos meu lado durante todos os anos de faculdade, seja em momentos felizes ou tristes, Sandro Victor, Pedro Ianco, Icaro Rhuan, Felipe Sena sintam-se todos saudados.

Aos meus companheiros de moradia no Recife e amigos, em especial Abson Francisco, Marília Pessoa e Amanda Felix. Mudar do Cabo de Santo Agostinho para o Recife não foi tão fácil, mas morar com vocês foi um experiencia incrível, obrigado por tudo.

Aos meu grupo do ABI, Thamires Tavares, Allan Rodrigues, Marcus Silva, Cristiane Amorim e Fabio Leão, mesmo seguindo em cursos separados, pelas horas nas bibliotecas, os perrengues antes de provas e por termos sobrevivido a área II, obrigado.

RESUMO

A secagem é uma operação unitária muito utilizada pela indústria alimentícia para remoção de água, com intuito de preservar o alimento. A utilização de pré-tratamentos em conjunto as técnicas de secagem tem sido cada vez maior, pois diminuem o tempo do processo, reduzindo custos e minimizando as alterações na qualidade do alimento. A beterraba é um tubérculo rico em ferro e açúcar, principalmente, e também em outros compostos, como cálcio, magnésio, proteína e diversas vitaminas. Entretanto, apresenta um alto teor de umidade e é bastante perecível. Assim, o aumento do seu tempo de preservação é necessário. Este trabalho teve como objetivo o estudo da cinética da secagem por infravermelho (IV) da beterraba com pré-tratamento de ácido cítrico, além de avaliar a influência do processo no tempo de secagem e na cor das amostras. As amostras foram submetidas a secagem IV na temperatura de 60 °C, sendo avaliada a distância entre a fonte IV e as amostras de beterraba (10 e 30 cm). Para o ajuste dos dados experimentais de secagem, foram utilizados três modelos empíricos (Exponencial de Dois Termos, Logaritmo e Page). As configurações com menor distanciamento para fonte IV (10 cm) obtiveram menores tempo de secagem. Em relação ao pré-tratamento, o mesmo afetou de maneiras distintas a secagem, a depender do distanciamento de 30 ou 10 cm. Com relação aos tempos de pré-tratamento testados (10 e 30 min), o aumento do tempo resultou em maiores tempos de secagem em ambos os distanciamentos. Dos modelos empíricos testados, se ajustaram bem aos dados experimentais da cinética da secagem, o modelo de Page e o modelo Logarítimo, para os distanciamentos de 10 cm e 30 cm, respectivamente. Também foi avaliada a influência da secagem na cor da beterraba. As amostras que passaram pelo pré-tratamento tiveram melhor preservação de cor, principalmente quando o menor distanciamento da fonte IV foi utilizado. Os resultados apontam que o pré-tratamento e a secagem IV podem influenciar positivamente na redução do tempo de secagem, consequentemente nos custos energéticos, e na preservação da cor da beterraba.

Palavras-chave: *Beta vulgaris* L., secagem infravermelho, conservação de alimentos, pré-tratamento, Análise de cor.

ABSTRACT

Drying is a unitary operation widely used by the food industry to remove water, in order to preserve the food. The use of pretreatments together with drying techniques has been increasing, as they reduce process time, reducing costs and minimizing changes in food quality. Beetroot is a tuber rich in iron and sugar, mainly, and also in other compounds, such as calcium, magnesium, protein and various vitamins. However, it has a high moisture content and is quite perishable. Therefore, increasing its preservation time is necessary. This work aimed to study the kinetics of infrared (IR) drying of beetroot with citric acid pretreatment, in addition to evaluating the influence of the process on the drying time and color of the samples. The samples were subjected to IR drying at a temperature of 60 °C, and the distance between the IR source and the beet samples (10 and 30 cm) was evaluated. To adjust the experimental drying data, three empirical models were used (Two-Term Exponential, Logarithmic and Page). Configurations with a smaller distance to the IR source (10 cm) had shorter drying times. Regarding pretreatment, it affected drying in different ways, depending on the distance used. Regarding the pretreatment times tested (10 and 30 min), increasing the time resulted in longer drying periods at both distances. Of the empirical models tested, the Page model and the Logarithmic model fit well with the experimental data on drying kinetics, for distances of 10 cm and 30 cm, respectively. The influence of drying on the color of beetroot was also evaluated. The samples that underwent pretreatment had better color preservation, mainly when the smallest distance from the IR source was used. The results indicate that pretreatment and IR drying can positively influence the reduction of drying time, consequently energy costs, and the preservation of beet color.

Keywords: Beta vulgaris L., infrared drying, food preservation, pre-treatment, color analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Beterraba (<i>Beta vulgaris</i> L.)	14
Figura 2 - Informação nutricional da beterraba (<i>Beta vulgaris</i> L.).....	15
Figura 3 - Etapas de secagem	16
Figura 4 - Desidratação osmótica.....	21
Figura 5 - Amostras de beterraba.....	23
Figura 6 - Béquer com amostra em solução de ácido cítrico	24
Figura 7 - Secador IV.....	25
Figura 8 - Adimensional de umidade em função do tempo na secagem das amostras de beterraba com e sem pré-tratamento com ácido cítrico nos diferentes distanciamentos da fonte IV.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modelos matemáticos utilizados no processo de secagem	18
Tabela 2 - Porcentagem da redução do tempo para atingir o equilíbrio em comparação ao experimento 30 cm.....	28
Tabela 3 - Parâmetros da modelagem matemática da secagem de beterraba.	29
Tabela 4 - Valores médios para os parâmetros de cor da beterraba seca em todos os ensaios..	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IV	Infravermelho
a *	Intensidade da cor vermelha (+) e verde (-) da fruta pós secagem
b *	Intensidade da cor amarela (+) e azul (-) da fruta pós secagem
L *	Luminosidade da fruta pós secagem
Xbs	Umidade na base seca (kg água/kg massa seca)
E%	Erro relativo percentual
ADM	Adimensional de umidade
ADM10cm	Adimensional de umidade distanciamento 10 cm sem pré-tratamento
ADM30cm	Adimensional de umidade distanciamento 30 cm sem pré-tratamento
ADM30cm10min	Adimensional de umidade distanciamento 30 cm com pré-tratamento de 10 minutos
ADM30cm30min	Adimensional de umidade distanciamento 30 cm com pré-tratamento de 30 minutos
ADM10cm10min	Adimensional de umidade distanciamento 10 cm com pré-tratamento de 10 minutos
ADM10cm30min	Adimensional de umidade distanciamento 10 cm com pré-tratamento de 30 minutos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. ESTADO DA ARTE/REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1 BETERRABA.....	14
2.2 SECAGEM.....	16
2.2.1 secagem infravermelho.....	19
2.3 PRÉ-TRATAMENTO	21
3. METODOLOGIA	23
3.1 MATÉRIA PRIMA.....	23
3.2 PRÉ-TRATAMENTO COM ACIDO CÍTRICO.....	23
3.3 SECAGEM.....	24
3.4 AVALIAÇÃO DO EFEITO D PROCESSO SOBRE A COR.....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
4.1 CINÉTICA DE SECAGEM.....	26
4.2 ANÁLISE DE COR.....	30
5. CONCLUSÃO.....	33
REFERÊNCIAS.....	34

1. INTRODUÇÃO

A beterraba (*Beta vulgaris* L.) é uma hortaliça produzida em todo o mundo. Em 2018, sua produção foi em torno de 257,49 milhões de toneladas (CHHIKARA et al., 2019), tendo como principal produtor a Rússia. Em âmbito nacional, a produção foi de cerca de 134.969 toneladas (IBGE, 2017) no ano de 2017, tendo como principais produtores os estados da Bahia, Minas Gerais, Goiás, São Paulo e Paraná, os quais são responsáveis por 87% da produção nacional. Ainda, o vegetal possui diversos nutrientes benéficos para o funcionamento do corpo humano. Entre os compostos presentes, estão agentes antioxidantes, como fenólicos e antocianinas, e minerais, como sódio, cálcio e potássio, que auxiliam em diversos processos biológicos do corpo humano (PACIULLI et al., 2016).

Existem várias formas de se consumir a beterraba, seja ela *in natura*, em conserva ou como farinha. Mesmo a raiz sendo a principal fonte de nutrientes, as suas folhas também podem ser utilizadas para alimentação. Entretanto, apesar de sua alta produção, série de benefícios e consumo em todo o território nacional, há uma preocupação por conta de sua perecibilidade. A secagem convectiva surge como uma alternativa para a preservação do vegetal. Assim, através da utilização de ar quente, há a remoção de água presente em frutas e hortaliças, fazendo com que seu tempo de prateleira aumente significativamente.

A secagem convectiva é bastante utilizada mundialmente (MOSES et al., 2014). Isso se dá pela estrutura simples e fácil operação de seus equipamentos (WANG et al., 2019). Entretanto, também apresenta problemas, como gasto energético e longos tempos de processamento. Assim, algumas técnicas de pré-tratamento têm sido estudadas como forma de acelerar a secagem e diminuir os danos que o calor pode causar nos vegetais. Como exemplo, tem-se a utilização da desidratação osmótica, ultrassom, banho em solução de etanol, entre outros.

A desidratação osmótica é um dos pré-tratamentos mais empregados e tem como finalidade diminuir previamente o teor de água presente dentro de determinada fruta ou hortaliça, utilizando o princípio da osmose. A diferença na pressão osmótica entre o vegetal e a solução hipertônica no qual está imerso gera uma força motriz que auxilia na remoção de água do alimento, pois a água se move do ambiente menor pressão osmótica para a de maior pressão (SILVA et al., 2012).

Outra opção consiste na utilização de diferentes métodos de secagem, como a secagem por infravermelho. A radiação infravermelha (IV) é uma parte do espectro eletromagnético em que predomina o efeito do aquecimento. Sua utilização na secagem tem auxiliado na diminuição do tempo e custos, por transferir calor da fonte para a superfície dos alimentos.

Diante do exposto, objetivo da pesquisa é avaliar o pré-tratamento com ácido cítrico e a influência da distância da fonte infravermelho para a amostra na secagem da beterraba. Os objetivos específicos são:

- a) Estudar a cinética de secagem da beterraba com e sem pré-tratamento osmótico;
- b) Avaliar a influência do pré-tratamento e da distância da fonte de IV no tempo de secagem e na cor das amostras.

2. ESTADO DA ARTE/REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BETERRABA

A beterraba (*Beta vulgaris* L.) é originária das regiões de clima temperado da Europa e do Norte da África. É um alimento produzido em larga escala no Brasil, sendo um alimento extremamente nutritivo. A produção nacional foi de cerca de 134.969 toneladas (IBGE, 2017), sendo os principais produtores os estados da Bahia, Minas Gerais, Goiás, São Paulo e Paraná, os quais representam cerca de 87% do que foi produzido no país. A beterraba *in natura* (Figura 1) é um alimento perecível, sendo que sua conservação pode ser feita por até uma semana, se mantida em local fresco e sombreado. Ao ser mantida em temperatura de refrigeração na geladeira, pode durar por até 15 dias, embalada em saco de plástico perfurado. Quando guardadas já descascadas, raladas ou picadas, sua durabilidade é reduzida a 3 ou 4 dias, devendo, obrigatoriamente, ser conservadas em geladeira, dentro de saco ou vasilha de plástico (EMBRAPA, 2017).

Figura 1- Beterraba (*Beta vulgaris* L.)



Fonte: S. W. Tivelli 2008

A beterraba tem em sua composição uma série de compostos que são de grande interesse alimentício como, fibra alimentar, cálcio, magnésio, proteína e diversas vitaminas, tais como vitaminas C, K e E e os minerais ferro, potássio e zinco (CHHIKARA et al., 2019). Observando-se a Figura 2 pode-se ver o valor nutricional da beterraba, por apresentar

compostos como potássio (auxilia na contração muscular do corpo), manganês (formação óssea e metabolismo de aminoácidos), carboidratos (energia).

Figura 2-Informação nutricional da beterraba
(*Beta vulgaris* L.).

INFORMAÇÃO NUTRICIONAL		
Porção 100g		
BETERRABA	Quantidade por porção	% VD (*)
Valor energético	49 kcal = 204 KJ	2
Carboidratos	11,1g	4
Proteínas	1,9g	3
Gorduras totais	0,1g	0
Gorduras saturadas	0	0
Gorduras <i>trans</i>	0	**
Fibra Alimentar	3,4g	14
Sódio	10mg	0
Manganês	1,23mg	53
Magnésio	24mg	9
Cobre	0,08mg	9
Potássio	375mg	8
Zinco	0,5mg	7
Vitamina C	3,1mg	7

Fonte: JJ Alimentos (2023).

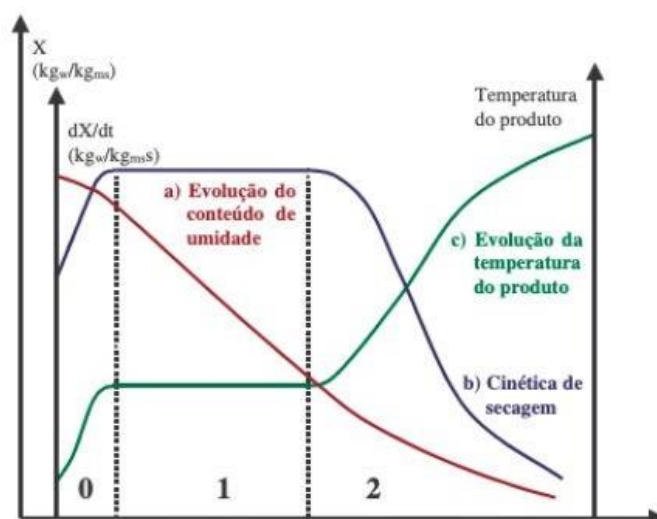
As betalaínas são compostos importantes presentes nesta raiz, pois possuem efeito antioxidante e anti-inflamatório. São compostos nitrogenados, responsáveis por dar a cor marcante presente nas beterrabas, o vermelho-arroxeadado. Estes compostos são utilizados nos dias atuais como pigmentos naturais para diversos alimentos (ZIELINSKA-PRZYJEMSKA et al., 2012). Entretanto, mesmo com sua série de benefícios, o vegetal é bastante perecível, assim, torna-se necessário a aplicação de métodos para sua conservação por maiores períodos.

2.2 SECAGEM

A secagem é uma operação unitária bastante utilizada na indústria química e alimentícia, tendo como objetivo básico a remoção de água de um determinado material. Com isso, pode-se prevenir ou reduzir o crescimento microbiano. É uma operação que envolve transferência de massa e calor simultaneamente, em que a água do material começa a evaporar devido ao calor fornecido pelo meio de aquecimento, que recebe o vapor de água removido, diminuindo, assim, o teor de umidade e a atividade de água no produto em questão, contribuindo para a sua conservação (PEREZ et al., 2003).

A secagem convectiva é um dos tipos mais utilizados mundialmente, por se tratar de um processo simples (MOSES et al., 2014). As mudanças durante o processo de secagem convectiva podem ser divididas em três etapas principais, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3- Etapas de secagem.



Fonte: Oliveira (2009).

As três curvas representam três parâmetros de importância no processo de secagem, sendo eles: a) Evolução do conteúdo de umidade, que mostra a redução do teor de umidade do alimento com o tempo de secagem; b) Variação da velocidade/taxa da secagem do alimento com o tempo; c) Evolução da temperatura do produto com o tempo da secagem.

Na imagem, é possível observar três zonas (0, 1 e 2) que ocorrem durante a secagem: os

períodos de indução, taxa constante e taxa decrescente. Na zona 0 (indução), o produto se encontra com temperatura menor que o ar. Por conta disso, a transferência de calor e massa tem taxas menores. Além disso, a pressão parcial de vapor da água na parte superior do produto é baixa, que a partir do calor advindo do ar, gera o aumento da temperatura do produto e, conseqüentemente, um aumento da pressão de vapor, facilitando a transferência de calor e massa (Oliveira, 2009).

Na zona 1 (taxa constante), após aquecido, a água presente na amostra é vaporizada, a pressão de vapor de água na superfície é contínua e equivalente a pressão de vapor de água pura a temperatura do produto. A velocidade de secagem é constante, uma vez que há grande quantidade de água ainda presente no produto (Oliveira, 2009).

Na zona 2 (taxa decrescente), a água presente na superfície do alimento reduz, havendo agora mais água em seu interior, que é mais difícil de se retirar do alimento. Isto causa a diminuição da taxa de água retirada do alimento e aumenta a troca de calor, por conduzir do meio externo para o interno, logo ocorre o aumento da temperatura interna do produto e o mesmo começa a tender a um equilíbrio térmico com o ar quente.

A modelagem empírica da cinética de secagem é de extrema importância para investigar a otimização da operação. Há uma série de modelos aplicados para ajustes de dados experimentais da secagem de alimentos. Os modelos empíricos lidam com variáveis como taxa de secagem, umidade, temperatura e massa perdida. Os modelos de secagem, de acordo com as equações empregadas, podem ser divididos em empíricos, semi-teóricos e teóricos.

Os modelos teóricos, utilizam os fundamentos da matemática da difusão e da transferência de calor e massa, se baseiam na segunda Lei de Fick, que expressa que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de água (MARTINAZZO et al., 2007). Os métodos empíricos consistem em formar grupos físicos adimensionais que podem ser facilmente investigados por experimentos de laboratório e baseia-se nas condições externas, como temperatura, razão da mistura e velocidade do ar de secagem. Embora bons para descrever as curvas de secagem, eles negligenciam os fundamentos do processo de secagem e seus parâmetros, como o transporte de energia e de água no interior dos produtos testados. Os modelos semi-empíricos relacionam modelos empíricos com argumentos baseados em fundamentos de transferência de massa visto nos modelos teóricos (MARTINAZZO et al., 2007).

Os modelos empíricos escolhidos foram selecionados por se adequarem bem ao caráter exponencial das curvas de secagem, como visto por Henderson e Pabis (1961). Os modelos empíricos de camada fina, negligenciam os fundamentos termodinâmicos dos processos de secagem, por tratar a amostra como um material com dimensões desprezíveis, o que permite considerar o teor de água e a temperatura constante. Exemplos de modelos utilizados são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1-Modelos empíricos utilizados no processo de secagem

Modelo	Equação	Referências
Henderson e Pabis	$ADM = a \exp(-kt)$	Henderson e Pabis (1961)
Logarítmico	$ADM = a \exp(-kt) + c$	Togrul e Pehlivan (2002)
Exponencial dois termos	$ADM = a \exp(-kt) + b \exp(-wt)$	Ozdemir e Devres (1999)
Lewis	$ADM = \exp(-kt)$	Bruce (1985)
Page	$ADM = \exp(-kt^n)$	Page (1949)

Onde: ADM é o adimensional de umidade, t é o tempo de processamento (s); a, b, c, k, n e w são constantes dos modelos.

$$ADM = \frac{X_t - X_e}{X_o - X_e} \quad (1)$$

Onde: X_t = umidade média no tempo t (kg água/kg massa seca); X_e = umidade de equilíbrio (kg água/kg massa seca); X_o = umidade inicial da amostra (kg água/kg massa seca)

A secagem convectiva geralmente utilizada nos processos de secagem tem alguns pontos negativos como o alto custo energético e degradação de compostos orgânicos termossensíveis, por isso métodos de secagem alternativos que visam diminuir o custo energético e a taxa de degradação dos compostos termossensíveis estão sendo cada vez mais estudados,

sendo um deles a utilização de uma fonte de radiação infravermelho para a secagem.

2.2.1 Secagem por infravermelho

A transferência de calor é energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperaturas meio. Os diferentes tipos de processos de transferência de calor podem ser divididos em três categorias: condução, convecção e radiação. Quando existe um gradiente de temperatura em um meio estacionário ou transiente, que pode ser um sólido ou um fluido, usamos o termo condução para classificar esse caso, sendo que a condução está relacionada ao conceito das atividades atômicas ou moleculares. A condução ocorre quando substâncias ou objetos estão em contato direto, a energia cinética dos átomos e moléculas é transferida pelas colisões entre os átomos e moléculas, onde a energia térmica flui do local com mais energia cinética (calor) para o com menor energia. O modo de transferência de calor por convecção abrange dois mecanismos. Além da transferência devido ao movimento molecular aleatório (difusão), a energia também é transferida através do movimento global (movimento macroscópico do fluido), ocorrendo em gases e líquidos. Consiste na transferência de calor dentro de um fluido através de movimentos do próprio fluido. A radiação térmica é a energia emitida pela matéria que se encontra a uma temperatura termodinâmica maior que 0 kelvin, consistindo de ondas eletromagnéticas viajando no vácuo transportando energia (calor). Diferente da convecção e condução, não precisa de um meio para transferência de calor (INCROPERA,2008).

A radiação tem uma série de vantagens em comparação com outros tipos de transferência de calor, tais como elevado coeficiente de transferência de calor, curto tempo de processo e baixo custo de energético (JUN et al., 2011). A secagem utilizando radiação infravermelha (IV) apresenta menor perda de energia, quando comparado com a secagem com ar quente, que utiliza apenas convecção, já que a energia é transferida diretamente da fonte para a superfície dos alimentos e uma condução de calor da superfície do alimento para o seu interior, sem necessidade de transporte de calor por meio aquecido. Na secagem IV, o meio não precisa ser aquecido para haver troca de calor e há poucas perdas energéticas, assim o custo energético é menor quando comparado com a secagem convectiva. Quando utilizada para aquecer ou secar materiais úmidos, a radiação IV penetra o interior do produto, interage com a matéria e é convertida em calor. A profundidade de penetração de radiação pode variar, dependendo das propriedades do material utilizado e do comprimento de onda emitido pelo equipamento. Quando o material é exposto à radiação, é intensamente aquecido e o gradiente de temperatura reduz em um curto período

(BAPTESTINI et al., 2016).

A técnica de secagem utilizando lâmpadas IV têm sido mais estudadas e utilizadas por conta de suas vantagens em relação a outros métodos. Estudos mostram o avanço tecnológico no uso da radiação infravermelha, seja no modo contínuo ou intermitentemente, de forma isolada ou acoplada a um sistema convectivo. Huang et al. (2021) estudaram a técnica em folhas de *Stevia rebaudiana*, avaliando sua cinética e teor de glicosídeo. A secagem foi realizada em diferentes temperaturas (45-65 °C) e alturas de irradiação (60-300 mm). As diferentes condições demonstraram que a taxa de secagem aumentou significativamente com a diminuição da altura de irradiação e o aumento da temperatura. Comparando as taxas de glicosídeos dos produtos secos nas diversas condições, foi constatado que a secagem IV resultava numa melhor preservação do composto. A tecnologia de secagem por infravermelho pode aumentar o número de microporos na superfície e no interior dos materiais, assim melhorando a qualidade dos produtos secos.

Okeyo et al (2017) realizaram um estudo de secagem utilizando infravermelho no arroz recém colhido, com 23,5% de umidade inicial em base úmida, com uma intensidade de radiação IV de 5,55 kW/m² durante 30, 50, 90 e 180 s. Eles concluíram que, para todas as amostras, a remoção de umidade e a energia necessária para realização do processo aumentaram, juntamente com a duração da secagem. Além disso, notaram que o tratamento com infravermelho não afetou negativamente as qualidades sensoriais e de moagem do arroz, sendo uma exceção as amostras aquecidas por 180 s.

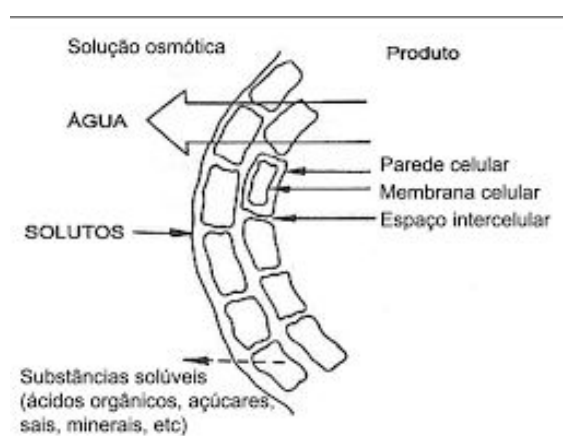
Boateng, Yang e Li (2021) estudaram a influência da secagem por infravermelho nas sementes frescas de *Ginkgo biloba*, que são ricas em compostos bioativos. No entanto, o material é ligeiramente venenoso e não pode ser ingerido diretamente devido ao alto teor de ginkgotoxina e ácido ginkgólico, que podem causar ataques epiléticos se consumidos acima de certa dose. Essa substância interfere nas atividades da vitamina B6 (piridoxina), que está ligada ao funcionamento do sistema nervoso, entretanto, em certa dosagem, é utilizada como fármaco. Embora a secagem possa diminuir os teores dessas substâncias, também pode ter um efeito adverso na bioatividade e na qualidade do produto. A secagem por IV resultou em teores de ginkgotoxina e ácido ginkgólico que estão abaixo do nível provável de causar toxicidade, portanto, poderia ser útil para alimentos e produção industrial como um alimento funcional e neutracêutico.

Além da secagem IV, o uso de pré-tratamentos pode ser uma alternativa para obtenção de maiores taxa de secagem e redução aos danos na qualidade dos alimentos pelo uso do calor.

2.3 PRÉ-TRATAMENTO

A desidratação osmótica foi primeiramente desenvolvida como uma técnica de pré-tratamento para secagem por Ponting et al. (1966). Atualmente, é utilizada como um pré-tratamento também do congelamento, liofilização, entre outros, com a finalidade de reduzir gastos energéticos e manter qualidade do produto alimentício. A técnica consiste na imersão do alimento em uma solução hipertônica (osmótica) que tem baixa atividade de água e alta pressão osmótica (Figura 4).

Figura 4- Desidratação osmótica



Fonte: (Lenart,1996)

A transferência de massa na desidratação osmótica é limitada por alguns fatores: resistência aumentando com alta viscosidade da solução osmótica e baixa diferença de densidade entre o sólido e as soluções (RASTOGI et al. 1997). Sacarose e cloreto de sódio (NaCl) são os agentes osmóticos mais comumente usados. Porém, nos dias atuais, novos compostos têm sido utilizados, como o ácido cítrico. Esses compostos têm uma série de vantagens, pois os tratamentos com ácidos orgânicos, por exemplo, podem aumentar a permeabilidade da membrana celular e a difusividade de água na mesma. Elevação das taxas de secagem podem ser observadas, pois, em condições ácidas, a pectina de frutas e vegetais pode se solubilizar e auxiliar na remoção de água, como visto no estudo de secagem de ameixas utilizando pré-tratamentos de ácido cítrico e ascórbico (BRAR et al., 2020).

O ácido cítrico vem sendo utilizado como pré-tratamento na secagem de frutas e hortaliças por trazer certas vantagens. Doymaz (2009) utilizou o ácido cítrico como pré-tratamento, avaliando a qualidade e vantagens na secagem de maçãs. Em seu trabalho, as frutas foram submetidas ao tratamento com ácido cítrico a 4% por um tempo de 3 minutos, a

temperatura ambiente e, também, ao branqueamento com água quente a 80 °C por 3 minutos. Observou-se que o tempo de secagem foi de 360 e 300 minutos, para as amostras submetidas ao branqueamento e ao ácido cítrico, respectivamente, mostrando assim a eficácia da utilização desse método como um pré-tratamento.

Souza et al. (2011) realizaram um estudo de secagem convectiva de jaca, utilizando ácido cítrico (0,25%) e açúcar (40%) no pré-tratamento osmótico, a jaca desidratada apresentou boa aceitação no teste sensorial. Como parte da água foi removida por osmose, alguns ácidos presentes na fruta puderam ser removidos junto com a água, produzindo dessa forma, um fruto com sabor mais suave e mais doce.

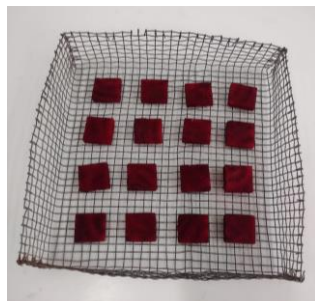
Doymaz (2012) realizou pré-tratamento de batata doce com solução de ácido cítrico a 20 °C por um período de 3 minutos e branqueamento com água quente a 80 °C por 3 minutos. A secagem foi realizada a uma temperatura de 65 °C com velocidade do ar de 2,0 m/s até a amostra atingir peso constante. O comportamento da secagem foi avaliado utilizando dez diferentes modelos matemáticos e o melhor modelo foi escolhido estatisticamente. As amostras pré-tratadas com ácido cítrico apresentaram o menor tempo de secagem quando comparadas às amostras controle e branqueadas, obtendo uma redução de 34,4% e 19,2% respectivamente. Os modelos matemáticos de Henderson e Pabis, Exponencial de Dois Termos e Logarítmico apresentaram os melhores ajustes aos dados experimentais. A difusividade efetiva do tratamento com ácido cítrico também foi maior. Parâmetros de cor e reidratação também apresentaram bons resultados com ácido cítrico.

3.METODOLOGIA

3.1 MATÉRIA-PRIMA

A matéria-prima utilizada foi adquirida no comércio do Cabo de Santo Agostinho, PE. Foram utilizadas por volta de 28 beterrabas para as análises prévias, ensaios de secagem e análises de cor. Após seleção, as beterrabas utilizadas foram lavadas e cortadas em fatias de 2,5x2,5 cm com espessura de 0,5 cm, utilizando uma faca inoxidável e um cortador (Figura 5).

Figura 5: Amostras de beterraba



Fonte:Autor (2023)

O teor de umidade das amostras foi determinado utilizando uma estufa a 105 °C (Tecnal, modelo TE-395) por 24 horas (AOAC, 2002).

3.2 PRÉ-TRATAMENTO COM ACIDO CÍTRICO

Para o pré-tratamento osmótico, foi utilizada uma solução de ácido cítrico 2% v/v. As amostras foram colocadas em béqueres de 500 mL contendo a solução (Figura 6), sendo utilizada uma razão amostra:solução de 1:4. O tempo de pré-tratamento foi de 10 e 30 min.

Figura 6-Béquer com amostra em solução de ácido cítrico.



Fonte:Autor (2023)

Após os tempos pré-determinados, as amostras foram retiradas da solução, sendo secas para remoção e do excesso de solução. Em seguida, as amostras foram pesadas e levadas para o processo de secagem.

3.3 SECAGEM

A secagem foi realizada em um secador por infravermelho (IV). O equipamento é constituído por um tambor de ferro isolado termicamente (Figura 7), o qual é aquecido internamente com 3 lâmpadas de infravermelho de 250 W cada. Foi avaliada a distância entre as lâmpadas e as amostras de 10 e 30 cm, estas distâncias escolhidas após ensaios prévios. O distanciamento de 30 cm foi o máximo possível a ser utilizado pela configuração do equipamento. Variou-se a distância de 10 em 10 cm, entretanto, notou-se que o distanciamento de 20 cm não apresentava diferença significativa quando comparado com o distanciamento de 30 cm.

A secagem foi realizada na temperatura de 60 °C, previamente ajustada por um termostato. As amostras foram pesadas em intervalos de tempo de 15 min, com a utilização de uma balança semi-analítica, até que o equilíbrio dinâmico fosse atingido.

Figura 7- Secador IV.



Fonte: Autor (2023)

Os estudos cinéticos foram feitos com a utilização dos dados adimensional de umidade em função do tempo de secagem. O teor de umidade em cada intervalo de tempo foi calculado a partir dos dados de pesagem e da massa seca das amostras. Os dados do teor de umidade foram convertidos na razão de umidade adimensionalizada (ADM), que é uma expressão adimensional ajustada em função do tempo de secagem (Equação 1).

Os três modelos utilizados para ajuste aos dados experimentais foram Page (Pg), Exponencial Dois Termos (TT) e Logaritmo (Log) (Tabela 1) Para a verificação dos ajustes foi calculado o erro médio relativo (E), que é definido como a diferença relativa entre os valores experimentais e preditos (Equação 2), sendo considerado preditivo o modelo que apresentar valores de E menores que 10% (LOMAURO et al., 1985).

$$E(\%) = \frac{100}{N} \sum_{n=1}^N \frac{M_p - M_e}{M_p} (2)$$

Onde: M_p : valores preditos pelo modelo; M_e : valores obtidos experimentalmente; N : número de pontos experimentais.

3.4 AVALIAÇÃO DO EFEITO DO PROCESSO SOBRE A COR

A cor das amostras foi avaliada em sextuplicata através do sistema de leitura de três parâmetros, CIELAB. Para a determinação dos parâmetros L^* (luminosidade), a^* (intensidades das cores vermelha-valor positivo, e verde-valor negativo) e b^* (intensidades das cores amarela-valor

positivo, e azul-valor negativo), utilizou-se um espectrofotômetro portátil CM 600D. O aparelho foi previamente calibrado utilizando padrões de cor fornecidos pelo fabricante.

Através destes parâmetros, foi calculada a diferença média de cor (ΔE^*) entre as amostras com e sem pré-tratamento, segundo a equação abaixo:

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_o^*)^2 + (a^* - a_o^*)^2 + (b^* - b_o^*)^2} \quad (3)$$

Onde: L^* e L_o^* = luminosidade das amostras secas e *in natura*, respectivamente; a^* e a_o^* = são as intensidades das cores vermelha (valor positivo) e verde (valor negativo) das amostras secas e *in natura*, respectivamente; b^* e b_o^* = são as intensidades das cores amarela (valor positivo) e azul (valor negativo) das amostras secas e *in natura*, respectivamente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

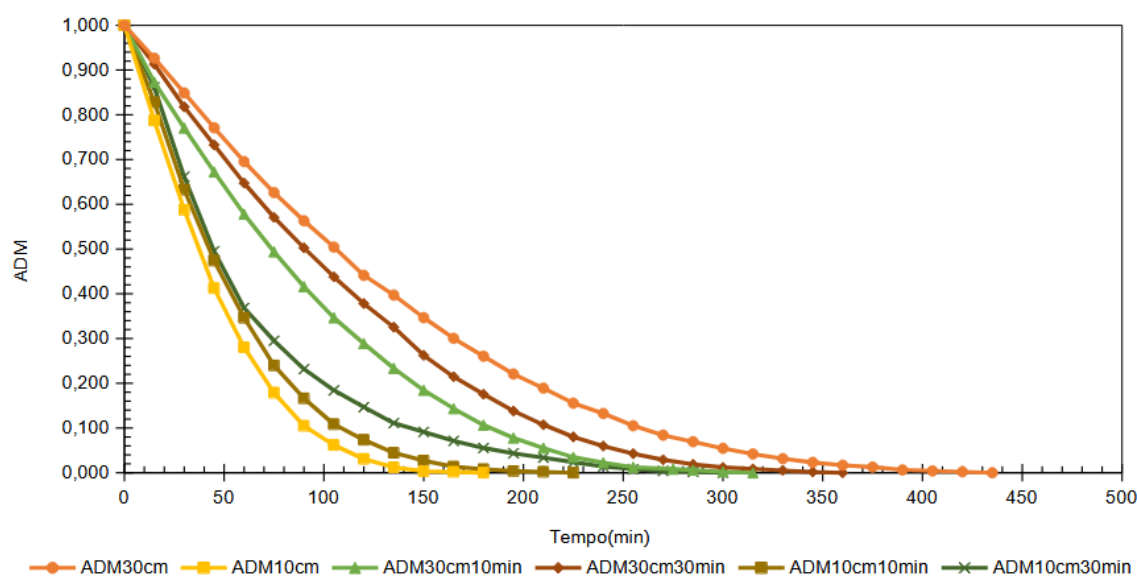
Os resultados apresentados a seguir foram divididos em dois tópicos, estudo da cinética de secagem e análise de cor.

4.1 CINÉTICA DE SECAGEM

O teor de umidade médio das amostras *in natura* de beterraba foi de 91,32% em base úmida (10,81 g de água/g de matéria seca). Após as etapas de pré-tratamento, os valores do teores de umidade foram de 92,29% (12,19 g de água/ g de matéria seca) e 91,30 % (10,49 g de água/ g de matéria seca) para as amostras pré-tratadas por 10 e 30 min, respectivamente.

Na Figura 8 são mostradas as curvas da cinética de secagem da beterraba feitas a partir do adimensional experimental (ADM, equação 1) para os ensaios realizados.

Figura 8- Adimensional de umidade em função do tempo na secagem das amostras de beterraba com e sem pré-tratamento com ácido cítrico nos diferentes distanciamentos da fonte IV



Observando as curvas de secagem apresentadas Figura 8, o ensaio que mais demorou a atingir o peso constante (equilíbrio) foi o das beterrabas sem pré tratamento com o distanciamento de 30 cm da fonte IV, sendo necessários 435 min. O menor tempo para atingir o peso constante (180 min) foi o da amostra sem pré-tratamento com distanciamento de 10 cm das lâmpadas IV para

a amostra. Observa-se, portanto, que a distância que está relacionada a incidência de radiação IV no alimento é um importante parâmetro com influência no tempo de secagem (Tabela 2).

Tabela 2-Tempo de secagem e porcentagem da redução do tempo para atingir o equilíbrio das amostras de beterraba secas sem e com pré-tratamento no ácido cítrico por 10 e 30 min e com diferentes distâncias da fonte IV (10 e 30 cm)

Tratamentos	Tempo para atingir o equilíbrio (min)	Redução do tempo em relação ao ensaio 30 cm (%)
ADM 30 cm	435	-
ADM 30 cm10 min	315	27,59
ADM 30 cm30 min	360	17,24
ADM 10 cm	180	58,62
ADM 10 cm10 min	225	48,28
ADM 10 cm30 min	300	31,03

As amostras com 10 cm de distanciamento tiveram um tempo menor de secagem para atingirem o equilíbrio, quando comparadas com os respectivos ensaios com distanciamento de 30 cm, com uma redução percentual aproximada de 58% entre os dois distanciamentos, uma diferença bastante significativa. Resultados semelhantes foram reportados por Huang et al. (2021), que estudaram a técnica secagem com IV em folhas de *Stevia rebaudiana*, em seu estudo obtiveram dados que a taxa de secagem aumenta significativamente com a diminuição da altura de irradiação IV, isso acontece pois a potência incidida é inversamente proporcional ao quadrado da distância (lei do inverso do quadrado).

Em relação às amostras submetidas ao pré-tratamento osmótico, verificou-se redução no tempo de secagem em relação a amostra sem pré-tratamento apenas quando o distanciamento da fonte IV foi de 30 cm. A desidratação osmótica utilizando ácido cítrico pode afetar diretamente a pectina presente na parede celular da beterraba (HIRANVARACHAT, et al 2011). Quando a parede celular amolece, há uma maior remoção de água, resultando em taxas de redução de umidade mais elevadas (HIRANVARACHAT et al, 2011). Assim, esses resultados podem ser atribuídos ao fato que o ácido cítrico favorece o aumento da permeabilidade da célula ocasionando um aumento da difusividade de água (DOYMAZ, 2013). Por outro lado, observou-se que quanto maior o tempo de pré-tratamento, mais demorado foi para atingir o equilíbrio dinâmico da secagem. Tal fato pode ter

ocorrido devido a uma maior incorporação de sólidos, dificultando a remoção de água durante a secagem.

Alguns trabalhos que estudaram a influência do infravermelho na secagem são encontrados na literatura, como o de Okeyo et al (2017) e de Boateng, Yang e Li (2021), nas secagens de arroz e das sementes frescas de Ginkgo biloba, respectivamente. Os autores reportaram que uso do IV resultou na diminuição tempo de secagem. Estes estudos utilizam fontes de IV fixas variando a potência das lâmpadas ou tempo de exposição do alimento.

A modelação matemática tem como finalidade descrever a cinética de secagem. Pode ser feita utilizando modelos empíricos, de forma a descrever da melhor maneira o comportamento da secagem. Os modelos empíricos de camada fina foram utilizados no ajuste dos dados experimentais obtidos nas cinéticas de secagem foram Page (Pg), Exponencial Dois Termos (TT) e Logaritmo (Log). Na Tabela 4, encontram-se os parâmetros dos modelos, o coeficiente de determinação(R^2) e erro médio relativo (E).

Tabela 3-Parâmetros da modelagem matemática da secagem de beterraba.

Tratamento	Parâmetros	Modelos Matemáticos		
		Pg	TT	Log
ADM 30 cm	a	-	0,1447	1,1401
	k	0,001761	0,0081	0,0063
	c	-	-	-0,1033
	n	1,2865	-	-
	b	-	0,931	-
	w	-	0,0081	-
	R^2	0,9982	0,9867	0,9972
	E%	17,25	48,79	11,87
ADM 10 cm	a	-	0,4955	1,0959
	k	0,0065	0,0225	0,0190
	c	-	-	-0,0650
	n	1,2947	-	-
	b	-	0,5548	-
	w	-	0,0225	-
	R^2	0,9993	0,9884	0,9954

	E%	5,80	28,42	15,52
ADM 30 cm10 min	a	-	0,6907	1,1200
	k	0,0032	0,0114	0,0089
	c	-	-	-0,0972
	n	1,2584	-	-
	b	-	0,3665	-
	w	-	0,0114	-
	R ²	0,9972	0,9974	0,9972
	E%	23,05	52,57	15,05
ADM 30 cm30 min	a	-	1,0266	1,1571
	k	0,0018	0,0096	0,0072
	c	-	-	-0,1208
	n	1,3223	-	-
	b	-	0,0508	-
	w	-	0,0096	-
	R ²	0,9973	0,9969	0,9960
	E%	22,01	58,54	14,23
ADM 10 cm10 min	a	-	-27,8001	1,0856
	k	0,0059	0,0116	0,0171
	c	-	-	-0,0464
	n	1,2716	-	-
	b	-	28,8344	-
	w	-	0,0118	-
	R ²	0,9998	0,9969	0,9955
	E%	6,36	8,93	15,33
ADM 10 cm 30 min	a	-	0,1510	1,0427
	k	0,0100	0,0164	0,0160
	c	-	-	-0,0078
	n	1,1042	-	-
	b	-	0,8879	-
	w	-	0,0164	-
	R ²	0,9977	0,9969	0,9971

	E%	9,83	10,23	6,33
--	----	------	-------	------

O modelo com melhor ajuste aos dados experimentais de secagem com distanciamento de 10 cm da fonte IV, foi o de Page, tendo um erro relativo (E) menor que 10% em todos os ensaios com este distanciamento, exceto por ADM10cm30min, em que o modelo Logaritmo teve o melhor ajuste. No caso das secagens com distância da fonte IV de 30 cm, o modelo Logaritmo se adequou melhor, apresentando os menores erros, porém seus valores de E% foram um pouco acima de 10%, estando numa faixa de 11 a 16%. Os erros relativos (E) relacionados ao modelo Exponencial de Dois Termos foram os maiores, demonstrando não ser adequado para descrever a cinética da secagem IV da beterraba.

O modelo empírico de Page obteve bons ajustes em outras pesquisas de modelagem matemática da cinética de secagem, como reportado por Khampakool et al. (2019) e Hawa et al. (2021), na liofilização assistida por infravermelho na produção de chips de banana e a secagem solar e convecção forçada da fruta cabuya, respectivamente. O bom desempenho do modelo logaritmo pode ser visto nos estudos de secagem de Oliveira et al. (2015) e Silva (2018) com morango e coentro em estufa utilizando a luz solar, respectivamente.

No caso do presente estudo, a partir da modelagem da cinética, verificou-se que o modelo de Logaritmo se adequou melhor as curvas que tem maior tempo de secagem. Já o modelo de Page se adequou melhor para as curvas com menor tempo de secagem. Como um importante parâmetro que influência o tempo de secagem é o distanciamento, observa-se uma relação clara entre o distanciamento e a otimização de determinado modelo.

4.1 ANALISE DE COR

Segundo a análise feita por Onwude et al. (2019), a cor é dos mais importantes atributos para poder se julgar a qualidade e a aparência de alimento, influenciando bastante na decisão do consumidor. Os parâmetros obtidos e a diferença de cor calculada para as amostras deste estudo são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4-Valores médios para os parâmetros e diferença de cor da beterraba.

Experimento	Parâmetros			
	L*	a*	b*	ΔE
ADM 30 cm	29,54 \pm 1,00	9,79 \pm 1,68	3,50 \pm 0,46	15,02 \pm 1,52
ADM 30 cm 10 min	26,54 \pm 2,06	15,91 \pm 2,56	0,29 \pm 0,79	9,94 \pm 3,37
ADM 30 cm 30 min	24,43 \pm 0,66	14,27 \pm 1,01	1,61 \pm 1,11	10,38 \pm 3,18
ADM 10 cm	24,34 \pm 1,69	9,18 \pm 0,89	3,57 \pm 0,35	14,65 \pm 2,58
ADM 10 cm 10 min	28,45 \pm 3,51	24,41 \pm 2,64	0,92 \pm 1,38	6,77 \pm 1,80
ADM 10 cm 30 min	26,05 \pm 1,25	15,49 \pm 4,55	4,92 \pm 2,52	8,40 \pm 5,06
<i>in natura</i>	24,26 \pm 0,84	23,59 \pm 2,37	6,17 \pm 1,10	-

Observa-se, na Tabela 4, um aumento do parâmetro L* após a secagem. Esse parâmetro está relacionado a luminosidade do alimento e, quanto maior, mais esbranquiçado o material. O aumento de L* pode ser justificado pela perda de pigmentos no processo de secagem. De França (2021) estudou a secagem da beterraba e sua influência na qualidade do alimento, constatando que a betalaína presente no vegetal tem maior taxa de deterioração pelo aumento da temperatura e tempo de secagem, se tratando de um composto termossensível. Vilhalva et al. (2012), em seu estudo sobre a secagem convectiva da casca de mandioca, observaram uma tendência ao clareamento do material, com o aumento de temperatura do ar até 60 °C, e em seguida, uma ligeira tendência de redução de L*.

A utilização de IV na secagem pode ter influenciado no clareamento das amostras secas, assim como observado na secagem IV de sementes de melancia realizada por Oliveira (2019). nas temperaturas de secagem de 45, 65 e 85 °C. Resultados semelhantes também foram obtidos por Graciola (2022) na secagem de beterraba pré-tratada. A eficácia do pré-tratamento de ácido cítrico para conservação de pigmentos foi relatada por Sakooei-Vayghan (2020), ao verificar os efeitos da desidratação osmótica (com e sem ultrassom) e pré-tratamentos de revestimento à base de pectina, nas propriedades funcionais e na cor de cubos de damasco secos. No presente estudo com a beterraba, o ensaio com maior valor de L* é o das amostras sem pré-tratamento e que tem o maior tempo de secagem (ADM30 cm).

O parâmetro a* está relacionado ao verde e vermelho. A beterraba é um alimento rico em uma substância que dá a coloração vermelha, a betalaína, que é até utilizada como corante natural. Do ponto de vista estrutural, este composto pode ser dividido em betacianinas, que apresentam coloração vermelha/violeta, e as betaxantinas, amarelas/alaranjadas. A coloração é bastante afetada pelos métodos da secagem convectiva, pois os pigmentos são termossensíveis (Chandran et al., 2014). Segundo estudo feito por De França (2021), no início da secagem há uma rápida deterioração das betacianinas presentes nas camadas mais externas, o que afeta

diretamente a coloração do produto. Entretanto, a utilização de pré-tratamentos minimizou os danos a pigmentação vermelha, principalmente quando foram realizados no tempo de 10 min. Segundo Kluge et al. (2016), substâncias ácidas, de forma geral, funcionam reduzindo as reações enzimáticas, que promovem a oxidação. Algumas fontes de natureza quelantes responsáveis por estabilizar moléculas de betacianinas, protegendo-as da degradação, são o ácido cítrico e o EDTA (ácido etilenodiamino tetra-acético). O aumento no tempo de pré-tratamento diminui a preservação do pigmento vermelho da beterraba pois a solução de ácido cítrico também retira pigmentos da mesma, quanto mais tempo em solução mais compostos da beterraba vão para a solução osmótica, o aumento de tempo de secagem provocado pelo ganho de sólidos advindos do pré-tratamento, é relatado no estudo feito por Sakooei-Vayghan (2020) etambém influência negativamente na preservação das betacianinas.

Em relação ao parâmetro b^* , nota-se um decaimento geral no valor. Esse parâmetro está relacionado com as cores azul e amarelo. Na beterraba, a coloração amarelada é dada pela substância betaxantina. Segundo Kluge et al. (2016), as betaxantinas são mais resistentes a altas temperaturas que as betalaínas, porém reagem com ácidos, o que pode explica o decréscimo de b^* quando as amostras foram pré-tratadas. As betaxantinas estão presentes em menor quantidade nas beterrabas, no geral o conteúdo de betacianinas supera em duas vezes o conteúdo de betaxantinas neste vegetal (SAWICKI et al., 2019).

Diferenças de cor (ΔE) maiores que 5 são significativos e podem ser reconhecidas, mesmo por observadores inexperientes (WANG et al., 2021). Todos os ensaios tiveram uma variação perceptível em sua cor. Os ensaios sem pré-tratamento apresentam os maiores valores de ΔE . A maioria das substâncias da beterraba são termossensíveis e o pré-tratamento contribuiu na sua conservação quando a secagem foi realizada. Os ensaios com tempo de 10 minutos de desidratação osmótica apresentam menor perda de coloração, comparados com os ensaios com 30 minutos. Outra variável importante é o distanciamento da fonte IV, sendo que o distanciamento de 10 cm preservou melhor a cor do alimento. Ainda, o tempo de secagem também está diretamente ligado aos resultados obtidos, em todos os parâmetros. No caso do distanciamento de 30 cm, o tempo de secagem é o maior observado, resultando em amostras com maior diferença de cor. Resultados semelhantes foram verificados por Kluge et al. (2016), Sakooei-Vayghan (2020), Graciola (2022) e Oliveira (2019).

5. CONCLUSÃO

Os resultados deste trabalho demonstram que o distanciamento da fonte de IV para a amostra está diretamente ligado com a cinética de secagem. Quanto menor o distanciamento, maior a radiação incidida e menor a taxa de dispersão, melhorando o processo e causando uma diminuição significativa no tempo de secagem.

O pré-tratamento com ácido cítrico afetou de diferentes modos o processo de secagem, a depender do distanciamento para fonte de radiação IV. Dentre as amostras pré-tratadas com ácido cítrico, as com o menor tempo de imersão resultaram em menores tempos de secagem, independente da distância utilizada para a fonte IV.

O modelo empírico de Page se adequou melhor aos experimentos com menores tempo de secagem e distanciamento, enquanto o modelo logaritmo se adequou melhor aos experimentos com maior distanciamento e tempos de secagem.

O pré-tratamento das amostras com ácido cítrico foi mais eficiente para a preservação da cor por apresentar valores menores valores de diferença de cor.

REFERÊNCIAS

- BAPTESTINI, F.M.; CORRÊA, P.C.; OLIVEIRA, G.H.H.; ALMEIDA, L.F.J.; VARGASELÍAS, G.A. **Constant and decreasing periods of pineapple slices dried by infrared**. *Agrária* (Recife. Online), v. 11, p. 53-59, 2016.
- Beterraba-JJ alimentos, 2023. Disponível em: <http://jjalimentos.com.br/legumes/m79g0raf7rpylgryrhfh5zosfhbdydyj>>. Acesso em: 03 de outubro de 2023.
- BRAR, H. S.; KAUR, P.; SUBRAMANIAN, J.; NAIR, G. R.; SINGH, A. **Effect of Chemical Pretreatment on Drying Kinetics and Physio-chemical Characteristics of Yellow European Plums**. *International Journal of Fruit Science*, Philadelphia, v. 20, p. 252-279, 2020.
- BRUCE, D. M. **Exposed-layer barley drying, three models fitted to new data up to 150 °C**. *Journal Agriculture Engineering Research*, [s. l.], v. 32, p. 337-347, 1985.
- BOATENG, ISAAC DUAH; YANG, XIAO-MING; LI, YUAN-YUAN. **Optimization of infrared-drying parameters for Ginkgo biloba L. seed and evaluation of product quality and bioactivity**. *Industrial Crops and Products*, v. 160, p. 113108, Fev. 2021. Elsevier BV.
- CHANDRAN, J.; NISHA, P.; SINGHAL, R. S.; PANDIT, A. B. **Degradation of colour in beetroot (Beta vulgaris L.): A kinetics study**. *Journal of Food Science and Technology*, v. 51, p. 2678–2684, 2014.
- CHHIKARA, N.; KUSHWAHA, K.; SHARMA, P.; GAT, Y.; PANGHAL, A. **Bioactive compounds of beetroot and utilization in food processing industry: a critical review**. *Food Chemistry*, London, v. 272, p. 192-200, 2019.
- DE FRANÇA, Pedro Renann Lopes. **Secagem de beterraba vermelha: avaliação do processo e qualidade do produto por uso de técnicas de imagem e espectroscopia no infravermelho próximo (NIR)**. 2021. Tese de Doutorado. [sn].
- DOYMAZ, I. **An Experimental Study on Drying of Green Apples**. *Drying Technology*, New York, v. 27, p. 478-485, 2009.
- DOYMAZ, I. **Drying of potato slices: effect of pretreatments and mathematical modeling**. *Journal of Food Processing and Preservation*, Westport, v. 36, p. 310-319, 2012.
- DOYMAZ, I. **Experimental study on drying of pear slices in a convective dryer**. *International Journal of Food Science and Technology*, Oxford, v. 48, p. 1909-1915, 2013.
- FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.
- GRACIOLA, Keli Cristiane. **Pré-tratamentos para secagem de beterraba**. 2022.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Unidade em Encantado, 2022.

HENDERSON, S. M.; PABIS, S. **Grain drying theory. I. Temperature effect on drying coefficient.** Journal of Agriculture Engineering Research, [s. l.], v. 6, n. 3 p. 169-174, 1961

HIRANVARACHAT, B.; DEVAHASTIN, S.; CHIEWCHAN, N. **Effects of acid pretreatments on some physicochemical properties of carrot undergoing hot air drying.** Food and Bioproducts Processing, Rugby, v. 89, p. 116-27, 2011.

HUANG, XIAOPENG; LI, WUQIANG; WANG, YONGMEI; WAN, FANGXIN. **Drying characteristics and quality of Stevia rebaudiana leaves by far-infrared radiation.** Lwt, [S.L.], v. 140, p. 110638, abr. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110638>

INCROPERA, F.P.; DEWITT, D.P. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa, 6a edição,** LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., R. J. 2008.

JUN, S.; KRISHNAMURTHY, K.; IRUDAYARAJ, J.; DEMIRCI, A. **Fundamentals and Theory of Infrared Radiation. Infrared Heating for Food and Agricultural Processing.** Ed. Pan, Z.; Atungulu, G. G. CRC Press, pp. 1-18, 2011.

KHAMPAKOOL, APINYA; SOISUNGWAN, SALINEE; PARK, SUNG HEE. **Potential application of infrared assisted freeze drying (IRAFD) for banana snacks: drying kinetics, energy consumption, and texture.** Lwt, [S.L.], v. 99, p. 355-363, jan. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2018.09.081>.

KLUGE, Ricardo Alfredo; PRECZENHAK, Ana Paula. **Betalaínas em beterraba minimamente processada: perdas e formas de preservação.** Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, v. 17, n. 2, p. 175-192, 2016.

LENART, A. **Osmo-convective, drying of fruits and vegetables: technology and application.** Drying Technology, v.14, p. 391-413, 1996.

LOMAURO C.J., BAKSHI A.S., LABUZA T.P. (1985) **Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I: fruit, vegetable and meat products.** Lebensmittel-Wissenschaft and Technologies, 18, p. 112-122.

MARTINAZZO, A. P.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; MELO, E. C. **Análise e Discriminação Matemática da Cinética de Secagem de Folhas de Capim-Limão.** Revista Brasileira de Agrícola e Ambiental, v. 11, n. 3, p. 301-306, 2007.

MOSES, J. A.; NORTON, T.; ALAGUSUNDARAM, K.; TIWARI, B. K. **Novel drying techniques for the food industry.** Food Engineering Reviews, [s. l.], v. 6, p. 43-55, 2014.

OLIVEIRA, R. A. **Estudo da secagem em dois tipos de secadores: avaliação dos parâmetros operacionais e comportamento do material seco.** 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2009.

OLIVEIRA, Gabriel Henrique Horta de et al. **Modelagem e propriedades termodinâmicas na secagem de morangos**. Brazilian Journal of Food Technology, v. 18, p. 314-321, 2015.

OLIVEIRA, Raí Melo de. **Estudo da secagem infravermelho de sementes de melancia (Citrullus lanatus)**. 2019. Tese (Pos-graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Sergipe, Faculdade de Engenharia Química, São Cristovão, 2019.

ONWUDE, DANIEL I.; HASHIM, NORHASHILA; ABDAN, KHALINA; JANUS, RIMFIEL; CHEN, GUANGNAN. **The effectiveness of combined infrared and hot-air drying strategies for sweet potato**. Journal of Food Engineering, v. 241, p. 75-87, jan. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.08.008>.

OKEYO, A. A.; OLATUNDE, G.; ATUNGULO, G. G.; SADAKA, S.; MCKAY, T. **Infrared Drying Characteristics of Long-Grain Hybrid, Long-Grain Pureline, and Medium-Grain Rice Cultivars**. Cereal Chemistry, V. 94, n. 2, p. 251-261, 2017.

OZDEMIR, M.; DEVRES, Y. O. The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. **Journal of Food Engineering**, v.42,n.4,p.225-233,1999.

PACIULLI, M.; MEDINA-MEZA, I. G.; CHIAVARO, E.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. **Impact of thermal and high pressure processing on quality parameters of beetroot (Beta vulgaris L.)**. LWT-Food Science and Technology, London, v. 68, p. 98-104, 2016.

PAGE, C. **Factors Influencing the Maximum Rate of Drying Shelled Corn in Layers**. West Lafayette MSc Thesis, Purdue University, 1949.

PEREZ, Bruna de Souza. **Obtenção de parâmetros para dimensionamento de um equipamento secador para a produção de cebola roxa desidratada**. In: CONGRESSO NACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, Não use números Romanos ou letras, use somente números Arábicos., 2015, São Paulo. Anais São Paulo: Conic, 2015. p. 1 – 11.

PONTING, J.D., WARRERS, G.G., FORREY, R.R., JACKSON, R., STANLEY, W.L. **Osmotic dehydration os fruits**. Food Techonology, n.20, p.1365-1368, 1966.

RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S.; NIRANJAN, K. **Mass transfer during osmotic dehydration of banana: fickian diffusion in cylindrical configuration**. Journal of Food Engineering. v. 31, p. 423-432, 1997.

Riadh, M. H.; Ahmad B. S. A.; Marhaban, M. H.; Soh, A.C. **Infrared Heating in Food Drying: An Overview**. Drying Technology, 2015, v. 33, p. 322–335

RODRIGUES, M.V.N.; RODRIGUES, R.A.F.; SERRA, G.E.; ANDRIETTA, S.R.;FRANCO, T.T. **Produção de xarope de açúcar invertido obtido por hidrolise heterogênea, através de planejamento experimental**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v.20, n.1, p.2-15, 2000.

SAKOOEI-VAYGHAN, Roghieh et al. **Effects of osmotic dehydration (with and without sonication) and pectin-based coating pretreatments on functional properties and color of hot-air dried apricot cubes**. Food chemistry, v. 311, p. 125978, 2020.

SAWICKI, T.; MARTINEZ-VILLALUENGA, C.; FRIAS, J.; WICZKOWSKI, W.; PEÑAS, E.; BĄCZEK, N.; ZIELIŃSKI, H. **The effect of processing and in vitro digestion on the betalain profile and ACE inhibition activity of red beetroot products.** Journal of Functional Foods, v. 55, 2018, p. 229–237, 2019.

SILVA, Mirtes Aparecida da Conceição; SILVA, Zaqueu Ernesto Da; MARIANI, Viviana Cocco; DARCHE, Sébastien. **Mass transfer during the osmotic dehydration of West Indian cherry.** LWT - Food Science and Technology, João Pessoa, Paraíba, v. 45, n. 2, p. 246–252, 2012.

SILVA, Toni Batista de Souza. **Estudo da cinética de secagem do coentro sob ação da radiação direta e difusa.** Nucleus, v. 15, n. 2, 2018.

SOUZA, Mariane Sampaio da Silveira de et al. **Desenvolvimento e avaliação de passas de jaca obtidas por desidratação osmótica seguida de secagem convectiva.** Journal of Health Sciences, v. 13, n. 2, 2011.

TIVELLI, S.W.; TRANI, P.E. **Hortaliças: Beterraba (*Beta vulgaris* L.).** 2008. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2008_3/beterraba/index.htm>. Acesso em: 7/2/2023

TOGRUL, I. T.; PEHLIVAN, D. **Mathematical modelling of solar drying of apricots in thin layers.** Journal of Food Engineering, Essex, v. 55, p. 209-216, 2002.

VILHALVA, Divina Aparecida Anunciação et al. **Secagem convencional de casca de mandioca proveniente de resíduos de indústria de amido.** Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 42, p. 331-339, 2012.

WANG, J.; XIAO, H. W.; YE, J. H.; WANG, J.; RAGHAVAN, V. **Ultrasound Pretreatment to Enhance Drying Kinetics of Kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) Slices: pros and Cons.** Food and Bioprocess Technology, [s. l.], v. 12, p. 865-876, 2019.

WANG, H.; FANG, X. M.; SUTAR, P. P.; MENG, J. S.; WANG, J.; YU, X. L.; XIAO, H. W. **Effects of vacuum-steam pulsed blanching on drying kinetics, colour, phytochemical contents, antioxidant capacity of carrot and the mechanism of carrot quality changes revealed by texture, microstructure and ultrastructure.** Food Chemistry, v. 338, p. 127799, 2021.

ZIELINSKA-PRZYJEMSKA, M.; OLEJNIK, M.; KOSTRZEWA, A.; LUCZAK, M.; JAGODZINSKI, P. P.; BAER-DUBOWSKA, W. **The beetroot component betanin modulates ROS production, DNA damage and apoptosis in human polymorphonuclear neutrophils.** Phytotherapy Research, London, v. 26, p. 845-852, 2012.