

SECAGEM DE CENOURAS COM E SEM BRANQUEAMENTO: UMA REVISÃO DE TRABALHOS EXPERIMENTAIS E NUMÉRICOS.

José Jorge da Silva Júnior¹
José Jefferson da Silva Nascimento²

RESUMO

O objetivo deste artigo é fazer uma revisão de trabalhos relacionados à secagem de cenouras com e sem branqueamento, relatando as principais características dos modelos matemáticos aplicados e dos resultados numéricos e experimentais obtidos por seus autores. A metodologia é baseada em pesquisa bibliográfica em teses, dissertações e artigos de periódicos especializados em secagem de produtos biológicos. Como resultados, obteve-se uma série de trabalhos capazes de fornecer diretrizes para o desenvolvimento de outros modelos matemáticos, bem como a importância e os benefícios da utilização do pré-tratamento de branqueamento na secagem de cenouras.

Palavras-chave: Cenouras, Secagem, Branqueamento, *Review*.

INTRODUÇÃO

A secagem de alimentos é uma das formas de preservação mais utilizadas, sendo empregada na obtenção de diversos tipos de produtos processados, dentre os quais se destacam os grãos, as frutas e as hortaliças. Além disso, aumenta a durabilidade dos mesmos, desde que diminui consideravelmente a atividade de água dos materiais, a atividade microbiológica e minimiza mudanças químicas e físicas durante o armazenamento (MAYOR; SERENO, 2004).

A grande variedade de alimentos desidratados que estão disponíveis para o consumidor e a preocupação em atender às especificações de qualidade e conservação de energia enfatiza a necessidade de um entendimento completo do processo de secagem (GORNICK; KALETA, 2011).

O processo consiste na redução do teor de umidade destes produtos por meio de transferência de calor aos mesmos até níveis que impeçam ações de micro-organismos e sua consequente deterioração. A maioria das frutas e hortaliças apresenta alto conteúdo de

¹ Doutorando do Curso de Engenharia de Processos da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG – campus Campina Grande, bolsista do Programa de Demanda Social (DS) da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, josejorge_18@hotmail.com;

² Professor orientador: Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba, Professor associado IV da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG – campus Campina Grande, jeffpesquisador@gmail.com;

umidade quando na forma *in natura*, o que as caracteriza como produtos perecíveis (PARK et al., 2007). Portanto, a secagem desses alimentos representa uma alternativa de conservação que proporciona maior vida de prateleira, além de redução dos custos com armazenamento e transporte (CELESTINO, 2010). O beneficiamento de produtos agrícolas por meio de secagem também tem um efeito de melhoramento das suas propriedades organolépticas, enriquecendo os seus sabores como no caso de frutas secas (banana-passa, uva-passa, ameixa seca, entre outros) ou vegetais desidratados em pratos rápidos (PARK et al. 2007).

Apesar desses benefícios, a secagem pode causar alguns problemas como a degradação de componentes nutricionais, alterações de cor, endurecimento superficial e encolhimento dos produtos.

Uma das mais importantes mudanças físicas que um alimento sofre durante a secagem é a redução de seu volume externo. A perda de água e o aquecimento causam tensões na estrutura celular que levam o alimento a mudar sua forma e reduzir suas dimensões (MAYOR; SERENO, 2004).

Produtos agrícolas e, principalmente, raízes vegetais sofrem muitas mudanças físicas e estruturais durante o processo de secagem (AFAGHI et al., 2013). Essas limitações de qualidade têm despertado o interesse de diversas pesquisas no decorrer dos anos, visto que a utilização de frutas e hortaliças desidratadas na formulação de produtos industrializados tem apresentado crescimento considerável, por agregarem maior valor nutricional a esses produtos (ANDREOLA, 2013). O melhoramento da qualidade dos alimentos desidratados pode ser atingido aplicando-se diferentes métodos de pré-tratamento antes da secagem, como o branqueamento. (GORNICKI; KALETA, 2007).

A cenoura é uma matéria-prima interessante para a indústria de alimentos, devido ao seu alto valor nutritivo, destacando-se pelo alto teor de β -caroteno, sendo um dos vegetais que apresenta maior teor deste nutriente (ONG; CHYTIL, 1983 apud TADESSE et al., 2015; BAO e CHANG, 1994; MAHAN et al., 2012). O β caroteno forma junto ao α caroteno os precursores da vitamina A, importante para a visão, pele, ossos entre outros diversos órgãos e funções sistêmicas do corpo humano (MAHAN et al., 2012). A cenoura desidratada é empregada na elaboração de sopas desidratadas, alimentos infantis, purês, molhos, patês, farinhas, biscoitos e *snacks* (ANDREOLA, 2013).

Muitos estudiosos têm abordado o problema de secagem de cenouras analisando modelos matemáticos de transferência de calor e umidade por difusão, além de considerarem

o efeito das condições de secagem, bem como a utilização de pré-tratamentos na qualidade do produto final. Esse artigo tem, por finalidade, mostrar uma revisão destes trabalhos.

METODOLOGIA

Em relação aos procedimentos técnicos, o presente trabalho está baseado em pesquisa bibliográfica realizada em livros, dissertações, teses e artigos de diversos periódicos internacionais e nacionais das bases de dados da CAPES, *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), *ScienceDirect*, entre outras, especializadas em secagem e tecnologia de materiais biológicos. A pesquisa teve maior foco em trabalhos que abordavam especificamente a secagem de cenouras, com ênfase naqueles que estudaram modelos matemáticos e a influência do pré-tratamento de branqueamento neste fenômeno. A busca foi realizada no período de julho a dezembro de 2018.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cenouras

A cenoura é uma hortaliça da família *Apiácea*, do grupo das raízes tuberosas, cultivada em larga escala nas Regiões Sudeste e Sul do Brasil (SOUZA et al., 1999). A área plantada chegou a 15.821 hectares no ano (ou ciclo 2016/17), com acréscimo de 3,29% sobre o espaço do ano anterior (ou etapa 2015/16) (CARVALHO et al., 2016). Caracteriza-se como uma das mais importantes olericulturas devido ao seu grande consumo em todo mundo, pela extensão de área plantada e pelo grande envolvimento socioeconômico dos produtores rurais (TEIXEIRA et al., 2011). Por ano, ocupa área equivalente a 30 mil hectares, com a produção de 900 mil toneladas de raízes. Está entre as 10 hortaliças mais plantadas no País (BELLON et al., 2016). É conhecida cientificamente como *Daucus carota L.* (DE MATOS et al. 2011). Algumas das principais cultivares disponíveis no mercado hoje são a Brasília, Kuronan, Nova Kuroda, Prima, Nova Carandaí, Nantes, Harumaki Kinko Gossium e Tropical (SOUZA et al., 1999). Algumas cultivares estão mostradas da Figura 1.

Figura 1 – Cultivares brasileiras da cenoura (*Daucus carota L.*) a) Kuronan b) Alvorada c)

Brasília.



Fonte – Embrapa (2018).

Além da grande quantidade de vitaminas e minerais, ela é um dos vegetais mais comuns na nutrição humana, devido ao seu alto teor de fibras, açúcar, amido, potássio, cálcio, fósforo, ferro e outros nutrientes e sais inorgânicos e cinco tipos de aminoácidos essenciais (ABOLTINS; UPITIS, 2011). A cenoura fresca possui um teor de umidade próximo a 80–90% (MIHOUBI et al., 2009).

Cenouras secas podem ser usadas para os mais diversos produtos industriais. Algumas imagens de cenouras secas estão mostradas na Figura 2.

Figura 2 – Cenouras secas.



Fonte – Dryfood (2019).

Branqueamento

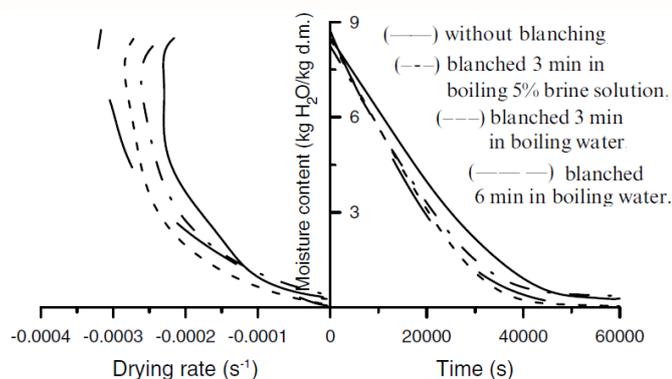
Segundo Gornicki e Kaleta (2007), o principal objetivo do tratamento de branqueamento é a inativação de enzimas como polifenoloxidasas, peroxidases, catalase e fenolase, que podem desencadear reações de deterioração, como coloração indesejável, sabor ou mudanças na textura do produto. O branqueamento de vegetais pode ser realizado por meio de exposição dos mesmos à água quente (método mais comum), soluções quentes ou em ebulição contendo ácidos e / ou sais, vapor ou por microondas durante vários segundos ou minutos (SEVERINI et al., 2005).

Outros benefícios produzidos pelo branqueamento incluem a redução do tempo de secagem, a remoção do ar intercelular dos tecidos, amaciamento da textura, além de retenção de carotenos e ácido ascórbico durante o armazenamento de produtos desidratados (JAYARAMAN; DAS GUPTA, 2006)

Diversos autores citados por Gornicki e Kaleta (2007) como Plat et al. (1991), Lee et al. (1989), Speck et al. (1977), Jayaraman e Das Gupta (1992) e Dan e Jain (1971) mostraram que o pré tratamento de branqueamento melhorava a qualidade das cenouras desidratadas.

De acordo com Gornick e Kaleta (2007), o branqueamento realizado em dois estágios poderia influenciar as propriedades de cenouras desidratadas ao ar quente. Um branqueamento em água a 65°C por 30 min. seguido por outro em água fervente por 3 min permitiu uma secagem a uma taxa maior do que as obtidas com tratamentos curtos em alta temperatura (Figura 3), melhorando a capacidade de reidratação da cenoura desidratada. Entretanto, amostras que sofreram branqueamento em dois estágios apresentaram menor quantidade de sólidos solúveis.

Figura 3 – Cinética de secagem de cubos de cenoura.



Fonte – Gornick e Kaleta (2007).

Zielinska e Markowski (2007) realizaram um estudo com secagem de cenouras em geometria cúbica e analisaram o efeito do tratamento de branqueamento em água destilada com 0,2% de trifosfato de sódio a 95°C por 4 minutos e da temperatura do ar de secagem na cinética de secagem bem como no encolhimento e na capacidade de reidratação de cubos de cenoura. O branqueamento influenciou significativamente os coeficientes no modelo de encolhimento derivado para secagem de cubos de cenoura em um secador de leito fluidizado, enquanto a temperatura não influenciou o encolhimento de partículas.

Arya et al. (1979) estudaram os efeitos da atividade de água, branqueamento e aditivos como Na Cl, bissulfito e Embanox-6 na estabilidade de carotenoides em cenouras desidratadas. A incorporação de sal, metabissulfito de sódio e Embanox-6 reduziram significativamente a taxa de destruição de carotenoides e escurecimento não-enzimático em cenouras desidratadas.

Modelos de secagem

Segundo Lima (1999), existem diversos modelos de secagem, dentre os quais, os principais são os empíricos, os semi-empíricos, os difusivos e os baseados na Termodinâmica dos Processos irreversíveis. Os empíricos são obtidos de relações diretas entre o teor de umidade do produto e o tempo de secagem. Os semi-empíricos partem da equação de resfriamento de Newton. Os modelos baseados na Termodinâmica dos Processos irreversíveis baseiam-se na validade das relações recíprocas de Onsager, o princípio de Curie e a existência de um equilíbrio termodinâmico local no interior do produto. Os modelos difusivos baseiam-se na difusão de líquido ou vapor no interior do produto.

São muitos os trabalhos que consideram o mecanismo difusivo como a principal forma de transferência de calor e umidade no interior de cenouras. Dentre esses, podemos citar Srikiatden e Roberts (2008), Afaghi et al. (2013), Białobrzewski et al. (2008) e Gornicki e Kaleta (2011).

A difusão de água e calor dentro do material ocorre devido à presença de gradientes de umidade e temperatura, respectivamente (INCROPERA et al., 2008). Para a difusão de umidade, o coeficiente de difusão efetivo exerce um papel fundamental no desempenho de modelos matemáticos, sendo em geral considerado constante ou dependente da temperatura e/ou do teor de umidade. O encolhimento de produtos biológicos durante a secagem também influencia o valor do coeficiente de difusão de massa (LIMA, 1999).

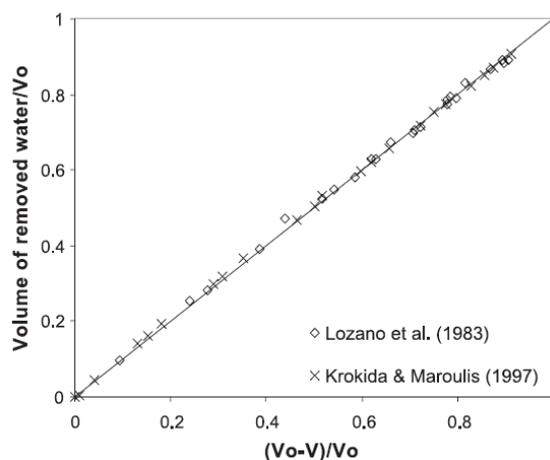
A maioria dos modelos matemáticos é uni ou bidimensional considerando o encolhimento desprezível (AFAGHI et al., 2013). Srikiatden e Roberts (2008) e Aboltins e Upitis (2011), por exemplo, propuseram modelos unidimensionais transientes obtendo uma boa concordância entre os dados experimentais e os numéricos.

O encolhimento de alimentos observado em diferentes processos de desidratação é um fenômeno físico comum. Essa mudança na geometria e volume do material desidratado deve

ser levada em consideração ao predizer perfis de temperatura e umidade no mesmo (MAYOR; SERENO, 2004).

Este fenômeno torna-se mais evidente com o aumento do volume de água removida, uma vez que quanto mais água é retirada, mais tensões de contração são originadas no material. Em alguns casos, o equilíbrio mecânico é atingido quando o encolhimento do material é igual ao volume de água removida. Os dados de encolhimento para secagem de cenouras apresentados por Krokida e Maroulis (1997) e Lozano et al.(1983) citados por Mayor e Sereno (2004) mostram que este comportamento é observado durante todo o processo de secagem e estão mostrados na Figura 4 .

Figura 4 – Razão de água removida versus redução de volume.



Fonte – Krokida e Maroulis (1997) e Lozano et al. (1983) *apud* Mayor e Sereno (2004).

Modelos lineares de encolhimento são adequados para descrever materiais e condições de processo que levam a um desenvolvimento desprezível de porosidade durante o processo de secagem, correspondente a um decréscimo linear do volume para toda a faixa de umidade. (MAYOR; SERENO, 2004).

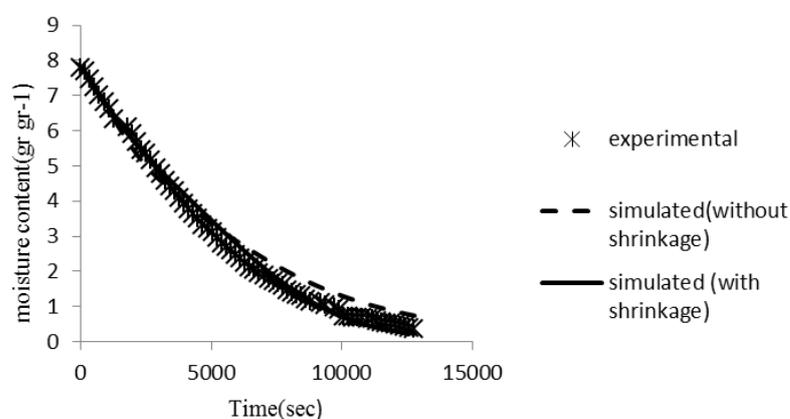
O material encolhe uniformemente em condições de baixas taxas de secagem, pois em tais condições, a difusão de água do interior para as regiões exteriores ocorre à mesma taxa de evaporação de água na superfície e não ocorrem gradientes acentuados de umidade.

Białobrzewski et al. (2008) desenvolveram um modelo para descrever a transferência de calor e massa durante a secagem de cubos de cenoura em um secador de leito de jorro. Neste trabalho, um modelo difusional tridimensional de transferência de umidade foi aplicado para simular a distribuição espacial do teor de umidade local durante a secagem da cenoura.

Segundo os autores, foram encontrados erros consideráveis nos valores de teor de umidade médios experimentais e estimados devido ao modelo linear e homogêneo de encolhimento assumido (BIAŁOBRZEWSKI et al. 2008).

Afaghi et al. (2013), ao estudarem a secagem de cenouras, desenvolveram um modelo que considerou o encolhimento tridimensional de amostras cilíndricas e o seu efeito nos perfis de temperatura, umidade e tensão obtidos durante a secagem. Os valores simulados foram comparados com os dados experimentais e foi obtida uma boa concordância entre os mesmos, como mostrado na Figura 5.

Figura 5 – Cinética de secagem com e sem encolhimento.



Fonte – Afaghi et al. (2013).

Gornicki e Kaleta (2011) desenvolveram dois modelos matemáticos que separaram a cinética de secagem em um período de taxa constante e outro de taxa decrescente. O modelo de encolhimento considerou a deformação igual nas três dimensões cartesianas. Antes da secagem, os cubos de cenoura de 10 mm foram branqueados usando três métodos. Os autores concluíram que o branqueamento aumentou a taxa de secagem, porém não influenciou no encolhimento das cenouras. Os modelos propostos descreveram bem toda a cinética de secagem sob convecção natural das cenouras branqueadas e não branqueadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na revisão realizada por este artigo, pode-se concluir que os modelos difusivos são complexos e um dos mais estudados pelos autores por fornecerem resultados

satisfatórios quando comparados aos dados experimentais de cinética de secagem. Ainda não ficou claro se o tratamento de branqueamento é capaz de influenciar o encolhimento das cenouras uma vez que Zielinska e Markowski (2007) relataram que o branqueamento influenciou significativamente os coeficientes no modelo de encolhimento derivado para secagem de cubos de cenoura em um secador de leito fluidizado, enquanto Gornick e Kaleta (2011) mostraram que este tratamento aumentou a taxa de secagem, porém não influenciou no encolhimento dos cubos de cenoura. Entretanto, pode se concluir que os tratamentos de branqueamento são capazes de melhorar as qualidades da cenoura desidratada, além de aumentar a taxa de secagem.

REFERÊNCIAS

ABOLTINS, A.; UPITIS, A.. Mathematical model of carrot slices drying. **Engineering for rural development**, vol. 05, p. 26-27. 2011

AFAGHI, Negar, et al.. Simulation shrinkage and stress generated during convective drying of carrot slices, **International journal of Advanced Biological and Biomedical Research**. Volume 1, Issue 12, 2013: 1660-1668.

ANDREOLA, Kaciane. **SECAGEM DE CENOURA (*Daucus carota L.*) ASSISTIDA POR MICRO-ONDAS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Estadual de Campinas – Unicamp. 205 p. Campinas, São Paulo, 2013.

ARYA, S.S. et al.. Stability of carotenoids in dehydrated carrots, **J. Food Technol.**, 14:579, 1979.

BAO, B.; CHANG, K. C.. Carrot juice color, carotenoids, and nonstarchy polysaccharides as affected by processing conditions. **Journal of Food Science**, 59, 1155–1158, 1994.

BELLON, André A. et al.. **ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DE CENOURAS ORGÂNICAS SUBMETIDAS A DIFERENTES TRATAMENTOS DE CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA**. XX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XVI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e VI Encontro de Iniciação à Docência – Universidade do Vale do Paraíba, 5 p., 2016.

BIAŁOBRZEWSKI, Ireneusz et al.. Heat and mass transfer during drying of a bed of shrinking particles – Simulation for carrot cubes dried in a spout-fluidized-bed drier. **International Journal of Heat and Mass Transfer** vol. 51, p. 4704–4716, 2008.

CARVALHO, Cleonice et al.. **Anuário Brasileiro de Hortaliças 2017**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 56 p. 2016.

CELESTINO, Sonia Maria Costa. **Princípios de Secagem de Alimentos**. 1ªed. 51 p. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, 2010.

DE MATOS, Francisco A. C. et al. **Coleção Passo a Passo – Cenoura**. Sebrae, 28 p. Plano Mídia, 2011.

DRYFOOD. **Dried carrot**. Disponível em: <<http://dryfood.kurucum.com/dried-carrot-price.html>>. Acesso em: 10 de março de 2019

EMBRAPA. **Cenoura**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-geral/-/busca/cenoura?buscaPortal=cenoura>>. Acesso em: 12 de setembro de 2018.

GÓRNICKI, K., KALETA, A.. Drying curve modelling of blanched carrot cubes under natural convection condition. **Journal of Food Engineering**, 82 (2007) 160–170. Warszawa, Poland.

INCROPERA, F. et al.. **Fundamentos de transferência de calor e massa. 6° Edição**. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

JAYARAMAN, K.S.; DAS GUPTA, D.K.. Drying of Fruits and Vegetables. In: **Handbook of Industrial Drying**. 3rd ed. Taylor & Francis Group, LLC, 2006.

LIMA, Antonio G. L.. **Fenômeno de difusão em sólidos esferodais prolatos. Estudo de caso: Secagem de banana**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, São Paulo – SP, 1999.

MAHAN, L.K. et al. **Krause: alimentos, nutrição e dietoterapia**. 13 ed. [tradução Claudia Coana et al.]. Elsevier, 1227 p. Rio de Janeiro, 2012.

MAYOR, L.; SERENO, A. M. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. **Journal of Food Engineering**, 61,373-386. (2004). Porto, Portugal.

MIHOUBI, D.; TIMOUMI, S; ZAGROUBA, F. Modelling of convective drying of carrot slices with IR. **Chemical Engineering and Processing** 48 (2009) 808–815. Hammam-Lif, Tunisia.

PARK, Kil Jin et al.. **Conceitos e Processos de Secagem**. 127 p., Campinas, São Paulo, 2007.

SEVERINI, C. et al.. Combined treatments of blanching and dehydration: study on potato cubes. **Journal of Food Engineering**, vol. 68, p. 289–296, Foggia, Italy, 2005.

SOUZA, Antonio F. et al.. **A cultura da cenoura**. Coleção Plantar (43). Embrapa Hortaliças. 77p. 1999

SRIKIATDEN, Jaruk; ROBERTS, John S. Predicting moisture profiles in potato and carrot during convective hot air drying using isothermally measured effective diffusivity. **Journal of Food Engineering** 84 (2008) 516–525. New York, USA.

TADESSE, Teferra F. et al. Nutritional and Sensory Properties of Solar-Dried Carrot Slices as Affected by Blanching and Osmotic Pre-Treatments. **International Journal of Food Science and Nutrition Engineering**, vol 5(1), p.24-32, Hawassa, Ethiopia, 2015.

TEIXEIRA, Luciano J. Q. et al.. CENOURA (Daucus carota): PROCESSAMENTO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA. **ENCICLOPEDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiania, vol.7, N.12, 22 p. 2011.

ZIELINSKA, M.; MARKOWSKI, M.. Drying Behavior of Carrots Dried in a Spout-Fluidized Bed Dryer. **Drying Technology: An International Journal**, 25:1, 261-270, 2007.