

Modelagem e simulação da secagem de arroz com casca: uma análise bibliométrica

Modeling and simulation of paddy drying: a bibliometric analysis

Modelado y simulación del secado de arroz con cáscara: un análisis bibliométrico

Ana Carla Zucolotto Venturin

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

E-mail: anacarlazv@hotmail.com

Luís César da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9582-3998>

Universidade Federal de Viçosa, Brasil

E-mail: silvaluisc@ufv.br

Recebido: 04/10/2018 | Revisado: 18/10/2018 | Aceito: 28/11/2018 | Publicado: 12/12/2018

Resumo

O arroz é um dos produtos base da alimentação da população brasileira e mundial. Como parte do processamento pós-colheita, a secagem é uma etapa fundamental, pois pode influenciar nas propriedades químicas, físicas e nutricionais do produto final. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho consistiu em realizar uma revisão bibliométrica sobre a utilização da modelagem e simulação no processo de secagem do arroz com casca, trazendo um panorama geral dos avanços alcançados, aspectos a serem desenvolvidos e oportunidades. Foi realizada primeiramente uma análise quantitativa das publicações relacionados ao tema encontradas na base de dados *Web of Science*, seguida de uma análise qualitativa dos artigos mais relevantes. Os resultados demonstraram a evolução da área e um grande potencial a ser explorado, principalmente na aplicação destes modelos no controle, automatização dos sistemas e no suporte à tomada de decisão em processos reais e em grande escala.

Palavras-chave: Modelos matemáticos; processamento pós-colheita; grãos; cereais; bibliometria.

Abstract

Rice is one of the staple foods of the Brazilian and world population. As part of post-harvest processing, drying is a critical step as it can affect the chemical, physical and nutritional properties of the final product. In this sense, the objective of this research consisted in the

realization of a bibliometric review on the use of modeling and simulation in the drying process of paddy, providing an overview of the progress achieved, aspects to be developed and opportunities. A quantitative analysis of the related publications found in the Web of Science database was carried out, followed by a qualitative analysis of the most relevant articles. The results demonstrated the evolution of the subject and a great potential to be explored, mainly in the application of these models in the control, automation of the systems and in the support to decision making in real and large scale processes.

Keywords: Mathematical models; post-harvest processing; grain; cereals; bibliometrics.

Resumen

El arroz es uno de los productos base de la alimentación de la población brasileña y mundial. Como parte del procesamiento post-cosecha, el secado es una etapa fundamental, pues puede influir en las propiedades químicas, físicas y nutricionales del producto final. En este sentido, el objetivo de este trabajo consistió en realizar una revisión bibliométrica sobre la utilización del modelado y simulación en el proceso de secado del arroz con cáscara, trayendo un panorama general de los avances alcanzados, aspectos a ser desarrollados y oportunidades. Se realizó primero un análisis cuantitativo de las publicaciones relacionadas al tema encontradas en la base de datos Web of Science, seguida de un análisis cualitativo de los artículos más relevantes. Los resultados demostraron la evolución del área y un gran potencial a ser explorado, principalmente en la aplicación de estos modelos en el control, automatización de los sistemas y en el soporte a la toma de decisión en procesos reales ya gran escala.

Palabras clave: Modelos matemáticos; procesamiento post-cosecha; granos; cereales; bibliometría.

1. Introdução

O arroz é um cereal da família das gramíneas com aproximadamente 20 espécies reconhecidas. Dentre essas espécies, a *Oryza sativa L.* é a mais cultivada, principalmente pela adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas, e boa aceitação pelos consumidores (JULIANO, 1993; GOMES e MAGALHÃES JUNIOR, 2004).

Por se tratar de uma cultura sazonal, as etapas pós-colheita são de grande importância e determinantes para garantir a disponibilidade do cereal ao longo do tempo e a preservação da qualidade. Geralmente, o arroz com casca é colhido com teores de água entre 20 e 25 % em base úmida, mas para o armazenamento seguro, o ideal é que estes valores estejam entre 9

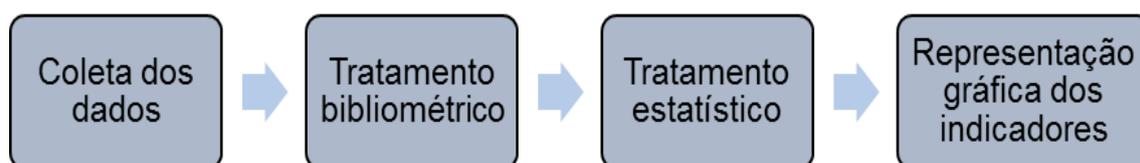
e 14%, o que irá depender do tempo de estocagem pretendido (IRRI, 2013). Procura-se, então, diminuir o teor de água por meio da secagem, para assim reduzir perdas associadas principalmente a proliferação de fungos, e à atividade metabólica do grão (IGATHINATHANE, CHATTOPADHYAY e PORDESIMO, 2008).

A secagem de produtos agroindustriais, como o arroz, representa geralmente a etapa mais importante, por reduzir perdas qualitativas e quantitativas, e de maior consumo energético na maioria das cadeias produtivas de grãos. Diversos estudos foram e ainda são realizados neste campo, muitos deles utilizando a modelagem e a simulação, buscando aprimorar principalmente fatores econômicos, ambientais e de qualidade do produto (RANJBARAN, EMADI e ZARE, 2014).

A revisão da literatura, por se tratar de um método descritivo-discursivo, tende a não preencher todas as lacunas na busca de informações, pois não apresenta características de reprodutibilidade e representatividade. Diante disso, a bibliometria surge como uma opção para evitar o mero acúmulo de informações, possibilitando o acompanhamento do estado da arte e do curso científico, a descoberta de deficiências e possíveis direcionamentos em pesquisas (GOMES e CAMINHA, 2014).

A revisão bibliométrica ou sistemática, segundo Araújo (2006), é uma técnica descritiva-quantitativa e estatística utilizada para medir os índices de produção e disseminação da produção científica. Através do método é possível trabalhar com grande quantidade de dados, e ao aplicar as ferramentas bibliométricas, obter indicadores que sintetizam e agregam valor à informação, como representado no esquema da Figura 1 (SOUZA, 2013).

Figura 1: Processo de tratamento da informação para obtenção de indicadores



Fonte: O autor.

Os indicadores bibliométricos podem ser divididos em indicadores de produção, citação e ligação. Os indicadores de produção indicam as características da produção científica e são estabelecidos através da contagem do número de publicações, que podem ser segregadas de diversas formas, como: por tipo (livros, artigos e relatórios), por país e pelo ano de publicação (OKUBO, 1997; ARAÚJO, 2006).

Os indicadores de citação são constituídos a partir da contagem do número de citações recebidas por uma determinada publicação, sendo utilizados como forma de atribuição de crédito aos autores. Por fim, os indicadores de ligação são construídos através de técnicas de estatística de agrupamentos pela co-ocorrência de autoria, citações e palavras. É utilizado, portanto, na elaboração de mapas de relacionamento entre pesquisadores, instituições e países (MACIAS-CHAPULA, 1998; SANTOS et al., 2007).

O objetivo deste trabalho foi apresentar uma revisão bibliométrica referente à modelagem e simulação da secagem de arroz com casca. Para tal, foram apresentados e analisados diversos indicadores bibliométricos, buscando melhor compreensão do tema proposto e a detecção das deficiências e oportunidades.

2. Metodologia

A revisão bibliométrica foi realizada utilizando como campo amostral a base de dados da plataforma *Web of Science*, produzida pelo *Institute for Scientific Information* (ISI) e pertencente ao grupo empresarial Thomson Reuters. A escolha foi pautada na grande abrangência internacional e contribuição científica da plataforma, que contém informações bibliográficas e citações de cerca de 40 milhões de artigos científicos, publicados a partir de 1945 (LACERDA, ENSSLIN e ENSSLIN, 2012).

A coleta dos dados foi operacionalizada no dia 25 de maio de 2018. Para a tabulação e análise descritiva dos dados bibliométricos, além das ferramentas da própria plataforma *Web of Science*, também foram utilizados os *softwares* OriginPro 2017, CiteSpace® versão 5.3.R1.7.1.2018 e Google Earth®.

Para a coleta dos dados, primeiramente foi realizada uma busca exploratória por artigos que tivessem como tópicos relacionados as palavras mais utilizadas na literatura para representar o objetivo da pesquisa, que foram “*drying*” e “*modeling*” or “*simulation*” or “*model*”. Nesta pesquisa foram incluídos todos os artigos que continham estes termos em seus títulos, resumos ou palavras-chave. Além disso, os termos separados por “*or*” tiveram o intuito de abranger artigos que apresentassem um destes termos em seus tópicos.

Devido à grande diversidade e abrangência do tema pesquisado e ao elevado número de respostas obtidas, a busca foi redirecionada para os artigos que continham os termos pesquisados apenas em seus títulos. Esta etapa teve como objetivo aumentar a relevância da pesquisa ao incluir apenas os artigos de melhor adequação. Para avaliar a progressão dos estudos, os artigos foram organizados por ano de publicação, número de citações e país de

origem, utilizando as ferramentas de análise da própria plataforma *Web of Science* (LACERDA, ENSSLIN e ENSSLIN, 2012).

Posteriormente, para direcionar a pesquisa ainda mais ao objetivo de estudo, foram adicionadas as palavras “*paddy*” or “*rice*” or “*grain*”, que estivessem contidas apenas nos títulos. Foram excluídas as publicações anteriores ao ano de 2010 e as que não estivessem em inglês, português ou espanhol. Os artigos remanescentes foram ordenados em ordem decrescente de acordo com o número de citações.

Para que definir o número de artigos avaliados dentre os resultantes, o tamanho da amostra foi calculado a partir da Equação 1 e utilizado como coeficiente de confiança. Esse cálculo se faz necessário para garantir a representatividade dos dados coletados e legitimidade da pesquisa (BARBETTA, 2007).

$$n = \frac{Z^2 \cdot \left(\frac{x}{n}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{x}{n}\right)\right] \cdot N}{(N - 1) \cdot e^2 + Z^2 \cdot \left(\frac{x}{n}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{x}{n}\right)\right]} \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

n = tamanho da amostra calculado;

N = tamanho da população;

e = erro amostral;

x/n = proporção estimada do item pesquisado na amostra (%); e

Z = valor da abscissa da curva normal associada ao nível de confiança escolhido.

A partir do tamanho da amostra calculado, os artigos de maior relevância nos termos da pesquisa foram lidos, analisados e sintetizados como o estado da arte para a modelagem e simulação de secagem de arroz com casca.

Para a construção de indicadores de ligação, as informações dos autores (país de origem e centro de pesquisa) foram extraídas da plataforma *Web of Science* e salvas em extensão de arquivo “.txt”, sem formatação. Estes dados foram inseridos no *software* CiteSpace® versão 5.3.R1.7.1.2018. Ao utilizar a ferramenta “*geographical*”, foi possível gerar uma rede de informações e localizações geográficas, que foram inseridas no *software* Google Earth® para melhor observação (CHEN et al., 2012).

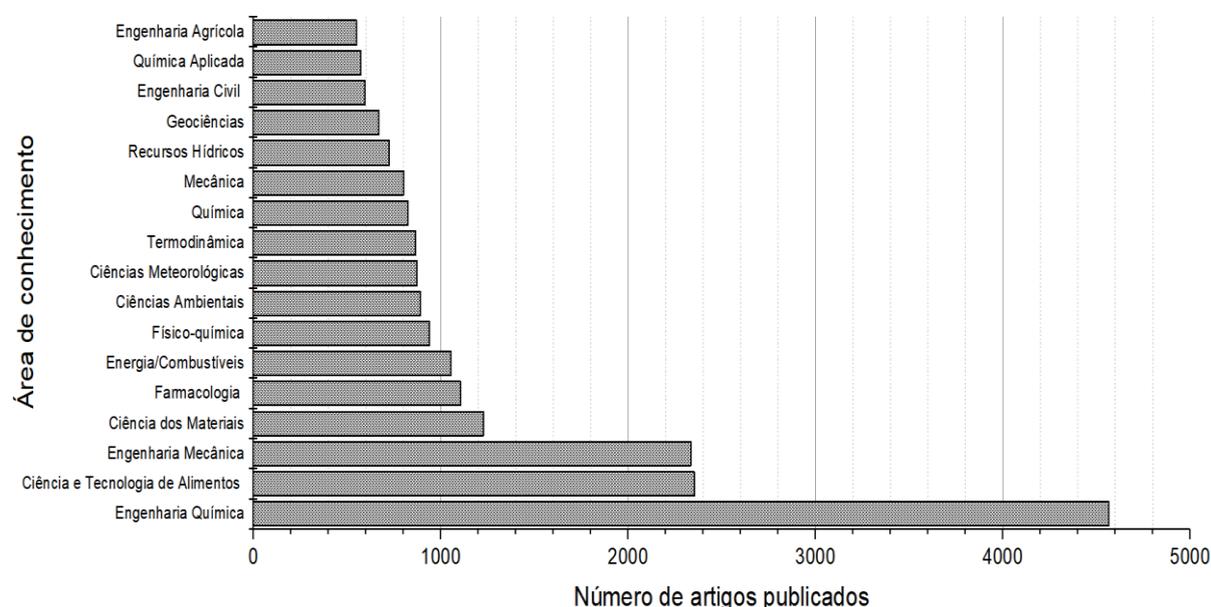
Por fim, foi elaborada uma análise SWOT (*Strenghts, Weaknesses, Opportunities e Threats*), na qual foram listados, em um quadro de quatro quadrantes, os fatores internos e externos do tema proposto. A SWOT é uma ferramenta de análise de ambientes, muito

utilizada na formação do planejamento estratégico e no processo de tomada de decisão, pois permite uma visão objetiva das forças e fraquezas do ambiente interno e também das oportunidades e ameaças do ambiente externo (SILVEIRA, 2001).

3. Resultados e discussão

A primeira pesquisa exploratória, realizada com os termos “*drying*” e “*modeling*” or “*simulation*” or “*model*” como tópicos, resultou em 17.713 artigos. De acordo com a área do conhecimento, os artigos foram categorizados e as principais foram apresentadas na Figura 2.

Figura 2: Número de artigos com os termos “*drying*” e “*modeling*” or “*simulation*” or “*model*” listados pela base *Web of Science* categorizados por área do conhecimento



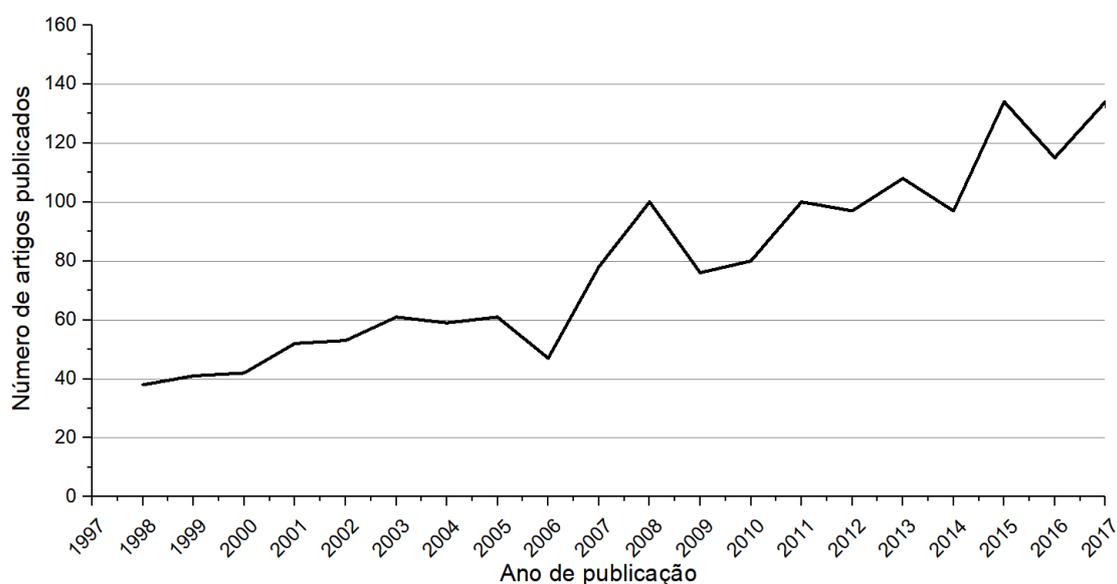
Fonte: O autor.

As áreas que apresentaram maior expressividade em relação ao número de artigos foram Engenharia química, Ciência e Tecnologia de Alimentos e Engenharia Mecânica, que somadas representaram 52,20 % das publicações. Porém, como a pesquisa foi realizada buscando os termos nos títulos, resumos ou palavras-chave, muitos artigos de baixa relevância ao estudo foram selecionados.

Ao redirecionar a pesquisa apenas para os itens contendo os termos em seus títulos, foram selecionados 2.095 artigos. Destes, os categorizados nestas mesmas três áreas do conhecimento somaram 89,35 % do total. Desta forma foi possível aumentar a relevância da pesquisa, observando-se uma melhor adequação da amostra ao tema proposto.

Para avaliar a evolução da atividade científica correlacionada ao longo do tempo, foi utilizado como indicador de produção a separação dos artigos por ano de publicação (Figura 3). Para melhor visualização, foram considerados apenas os últimos 20 anos e o ano de 2018 foi excluído por estar incompleto.

Figura 3: Número de artigos com os termos “*drying*” e “*modeling*” or “*simulation*” or “*model*” publicados por ano, listados pela base *Web of Science*



Fonte: O autor.

Foi possível observar através deste indicador um crescente interesse em estudos voltados para a modelagem e a simulação de secagem em um contexto geral. Por se tratar de um tema bastante abrangente, os artigos foram classificados por número de citação e os 5 mais citados foram apresentados no Quadro 1 com o objetivo de retratar a diversidade de aplicações e direcionamentos possíveis.

Quadro 1: Cinco artigos mais citados de acordo com a base de dados *Web of Science* quando pesquisados os termos “*drying*” e “*modeling*” or “*simulation*” or “*model*”

Título	Autores
<i>A new model for single-layer drying</i>	Midilli, Kucuk e Yapar (2002)
<i>Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes</i>	Yaldiz, Ertekin e Uzun (2001)
<i>Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model</i>	Ertekin, e Yaldiz (2004)
<i>Mathematical-modeling of the thin-layer solar drying of sweet-potato slices</i>	Diamante e Munro (1993)
<i>Mathematical modeling of thin layer drying of pistachio by using solar energy</i>	Midilli e Kucuk (2003)

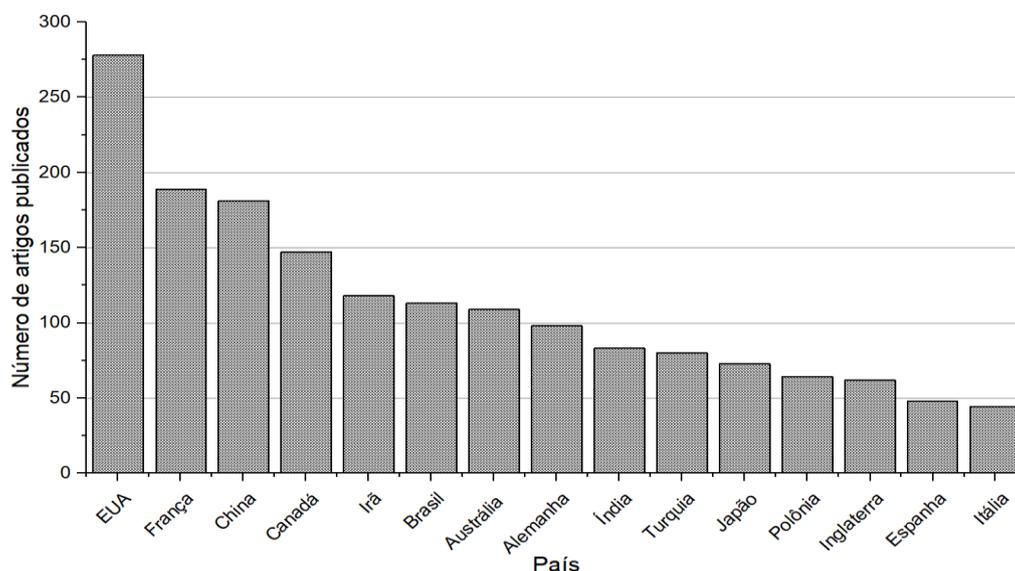
Fonte: O autor.

A simulação matemática da secagem de produtos agrícolas começou a despertar o interesse do meio científico entre as décadas de 1950 e 1970 (HUKILL, 1954; THOMPSON, 1967; BROOKER et al.,1974; BAKKER-ARKEMA et al.,1978; HAWK et al.,1978; MOREY et al., 1978; VAN EE e KLINE,1979). É válido lembrar que a plataforma dispõe de dados a partir de 1945, porém o primeiro artigo encontrado para a modelagem e simulação da secagem de grãos foi do ano de 1969: “*A mathematical simulation of grain drying*” (SPENCER, 1969).

Spencer (1969) apresentou o desenvolvimento de um modelo diferencial para secagem de grãos em secadores de camada espessa. A partir do modelo foram estimadas as taxas de secagem para grãos com altas e baixas umidades iniciais. Embora bons resultados tenham sido atingidos ao se comparar com dados experimentais, foi destacada a necessidade de aprimoramento das equações na busca por aplicabilidade em projetos de secadores.

A maioria destas publicações citadas como pioneiras, tiveram sua origem nos Estados Unidos da América, o que revela, o país como precursor em estudos na área. Visando avaliar a contribuição dos demais países, os dados foram separados por nacionalidade e os quinze de maior destaque foram apresentados na Figura 4.

Figura 4: Número de artigos com os termos “*drying*” e “*modeling*” or “*simulation*” or “*model*” publicados por país, listados pela base *Web of Science*



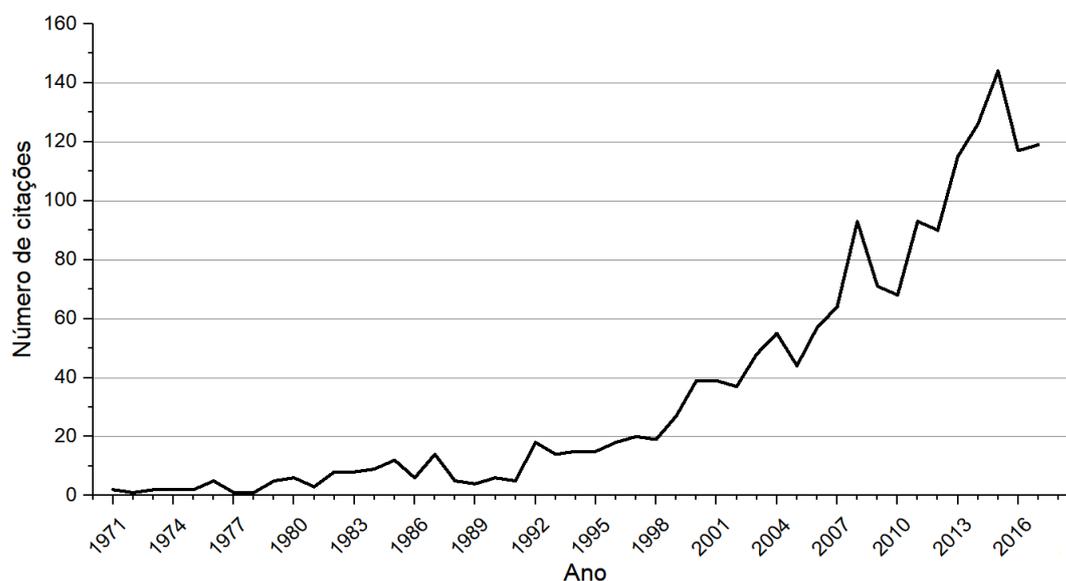
Fonte: O autor.

Atualmente, os EUA ainda se sobressaem como principal colaborador com 13,27 % das publicações, seguido por França (9,02 %), China (8,64 %) e Canadá (7,01 %). O Brasil aparece na sexta colocação (5,39 %), que é expressiva, porém considerando a grande extensão territorial e densidade populacional, aliadas ao fato de ser um dos maiores produtores de diversos insumos agrícolas, é evidente um potencial de pesquisa e geração de conhecimento ainda pouco explorado.

Esta amostra de artigos permitiu uma visão geral da pesquisa em modelagem e simulação da secagem, porém o número de artigos encontrados foi grande para uma análise significativa de suas informações. Portanto, novos termos foram adicionados: “*paddy*” or “*rice*” or “*grain*”, a fim de refinar os resultados para o produto de interesse, o arroz.

A partir dos novos requisitos de pesquisa, foram encontrados 115 artigos publicados, 111 em inglês e 4 em espanhol. Ainda buscando avaliar a evolução da atividade científica, foi realizada uma análise do número de citações dos artigos por ano (Figura 5). O ano de 2018 foi novamente excluído por não estar completo.

Figura 5: Número de citações de artigos com os termos “drying”, “modeling” or “simulation” or “model” e “paddy” or “rice” or “grain” por ano, listadas pela base Web of Science



Fonte: O autor.

O crescente número de citações ao longo dos anos indica um fortalecimento da área e aumento da sua atuação na pesquisa científica. A quantidade de citações começa a crescer e ser relevante a partir da década de 1990, provavelmente acompanhando a popularização dos computadores e *softwares* mais avançados. A evolução dos computadores teve grande impacto na produção científica, principalmente na área de simulação, por permitir uma significativa redução de custos dos experimentos, muitas vezes inviáveis na realidade (RANJBARAN, EMADI, e ZARE, 2014).

Visando os estudos mais atuais, foram considerados somente os artigos publicados a partir de 2010, totalizando 32 publicações, 31 em inglês e 1 em espanhol. Foi realizada a ordenação por número de citações e utilizando a Equação 1, com erro amostral de 10% e nível de confiança de 90 %, foi definida uma amostra de 15 artigos a serem avaliados como referência (Quadro 2).

Quadro 2: Artigos mais citados de acordo com a base de dados *Web of Science* quando pesquisados os termos “drying”, “modeling” or “simulation” or “model” e “paddy” or “rice” or “grain”, publicados a partir de 2010

Título	Autores
<i>Numerical simulation of rough rice drying in a deep-bed dryer using non-equilibrium model</i>	Naghavi, Moheb e Ziaei-rad (2010)

<i>Mathematical modeling of intermittent and convective drying of rice and coffee using the reaction engineering approach (REA)</i>	Putranto et al. (2011)
<i>Effect of Geometry of Rice Kernels on Drying Modeling Results</i>	Prakash e Pan (2012)
<i>CFD Simulation of Deep-Bed Paddy Drying Process and Performance</i>	Ranjbaran, Emadi e Zare (2014)
<i>A Generalized Dimensionless Model for Deep Bed Drying of Paddy</i>	Zare, Jayas e Singh (2012)
<i>Modeling in-bin rice drying using natural air and controlled air drying strategies</i>	Lawrence, Atungulu e Siebenmorgen (2015)
<i>Artificial neural network modeling of process and product indices in deep bed drying of rough rice</i>	Tohidi et al. (2012)
<i>Modeling of moisture diffusivity, activation energy and energy consumption in fluidized bed drying of rough rice</i>	Khanali, Banisharif e Rafiee (2016)
<i>Three-dimensional numerical modeling of convective heat transfer during shallow-depth forced-air drying of brown rice grains</i>	Perez et al. (2015)
<i>Application of simulation in determining suitable operating parameters for industrial scale fluidized bed dryer during drying of high impurity moist paddy</i>	Sarker et al. (2015)
<i>Simulation and validation of on-farm in-bin drying and storage of rough rice</i>	Atungulu et al. (2016)
<i>Development of a multi-scale model for deep-bed drying of rice</i>	Elgamal et al. (2015)
<i>Model predictive control of the grain drying process</i>	Han et al. (2012)

<i>Pore network model and simulation of transport process for grain drying</i>	Chang et al. (2011)
<i>Discrete particle simulation of food grain drying in a fluidised bed</i>	Azmir, Hou e Yu (2018)

Fonte: O autor.

Naghavi, Moheb e Ziaei-rad (2010) apresentaram um modelo de não-equilíbrio para a secagem de arroz com casca em secador de camada espessa. No estudo, destacou-se o não desprezo dos termos de acúmulo dos balanços de massa e energia, desenvolvidos para o volume de controle dentro do secador. A partir do modelo, foi desenvolvido e implementado um programa no MATLAB, que obteve boa precisão ao simular, em diferentes posições e tempos de secagem, as temperaturas e umidades do ar e dos grãos.

Putranto et al. (2011) avaliaram a precisão e a robustez do modelo REA, geralmente utilizado para produtos de elevadas umidades, para a secagem convectiva e intermitente de arroz e de café. O modelo foi proposto em 1996, sendo baseado na aplicação de princípios da engenharia das reações químicas para modelar a cinética da secagem. Para o arroz, o modelo apresentou boa precisão e robustez, tanto para a secagem contínua quanto para a intermitente, com R^2 superiores a 0,992 e Raízes dos erros quadrados médios (RMSE) inferiores a 0,004.

Prakash e Pan (2012) buscaram avaliar os impactos da geometria dos grãos e do seu encolhimento durante a secagem. Foram desenvolvidos três modelos, um para cada geometria: esfera, esferoide e elipsoide, que foram resolvidos através do programa Comsol Multiphysics® e suas previsões para conteúdo e gradiente de umidade foram comparadas. A forma que se mostrou mais adequada para representar os grãos de arroz foi a elipsoide. Já o encolhimento, ao ser considerado, obteve impacto muito pequeno (menor que 5 %) nos resultados.

Ranjbaran, Emadi e Zare (2014) realizaram a modelagem, simulação e validação da secagem de arroz com casca em secador de camada espessa/silo. Como diferencial do trabalho, está a utilização de um modelo tridimensional desenvolvido em *Computational Fluid Dynamics* (CFD), sendo utilizado para a simulação o *software* Fluent 6.3.26. Os parâmetros avaliados foram umidade dos grãos, temperatura do ar e umidade absoluta, cujos erros máximos obtidos durante a validação foram de 9 %, 0,06 % e 0,37 %, respectivamente.

Zare, Jayas e Singh (2012) desenvolveram um modelo adimensional generalizado para a secagem de arroz a partir de um modelo diferencial de secagem já validado. A equação

proposta apresentou boa adequação ao prever o conteúdo de umidade durante a secagem, uma vez que, ao ser comparado com o modelo precursor validado, foram obtidos R^2 igual a 0,866 e RMSE de 0,01468.

Lawrence, Atungulu e Siebenmorgen (2015) utilizaram o *software* Post-Harvest Aeration Simulation Tool (PHAST), baseado no modelo de equilíbrio de Thompson, para simular a secagem de arroz com ar ambiente. Foram avaliadas duas estratégias de secagem, com e sem controle do ar ambiente, que foram simuladas sob diferentes umidades iniciais, fluxos de ar, profundidades e variedades. O cenário com o ar ambiente controlado se mostrou superior na secagem e nos custos.

Tohidi et al. (2012) também modelaram a secagem em camada espessa de arroz com casca, porém, como diferencial, utilizaram redes neurais artificiais (RNAs) como modelos. Ao testar a sensibilidade do modelo proposto, todos os índices de secagem foram mais próximos aos valores reais do que modelos de regressão linear ou logarítmica.

Khanali, Banisharif e Rafiee (2016) recorreram à modelagem para avaliar a cinética de secagem, a difusividade de umidade, a energia de ativação e os consumos de energia específico e total durante a secagem do arroz com casca em secador de leito fluidizado. Através dos experimentos realizados sob diferentes condições de secagem, foram propostas equações de ajuste para cada uma das variáveis analisadas, todas com R^2 superior a 0,9643.

Perez et al. (2015) desenvolveram um modelo diferencial não linear e tridimensional para simular as transferências simultâneas de calor e massa durante a secagem em camadas rasas de arroz integral, utilizando o código comercial COMSOL Multiphysics V4 3a. Afim de proporcionar uma visão mais realista do processo, foram conduzidos experimentos para a validação do programa. A comparação dos resultados demonstrou boa concordância entre a simulação e os experimentos.

Sarker et al. (2015) realizaram a adaptação de um modelo já existente para a simulação em MATLAB da secagem de arroz com altos conteúdos de impurezas e umidade em secador de leito fluidizado. Destaca-se no trabalho a aplicação do programa em um secador industrial em funcionamento, que foi utilizado nos experimentos de validação, visando estabelecer um guia para tomada de decisão em situações adversas durante o processo. Durante a validação do modelo, todas as previsões de temperatura e umidade dos grãos obtiveram desvio relativo médio (MRD) inferior a 4,90 %.

Atungulu et al. (2016) utilizaram um modelo de equilíbrio para simular a temperatura e o conteúdo de umidade do arroz com casca, durante a secagem com ar natural. O modelo foi validado utilizando experimentos de campo com sensores modernos para a medição das

umidades relativas e temperaturas. De forma geral, o modelo se mostrou útil na previsão dos parâmetros citados, obtendo RMSE inferior a 0,57 % para o conteúdo de umidade e 1,91 °C para a temperatura.

Elgamal et al. (2015) modelaram a secagem em camada espessa de arroz com casca em duas etapas. Primeiramente foi utilizado um modelo em *computational fluid dynamics* (CFD) para prever os coeficientes convectivos de transferência de massa e calor entre os grãos de arroz individuais e o ar. Estes coeficientes foram então utilizados na modelagem para a previsão das umidades e temperaturas dos grãos nas diferentes alturas das camadas. Ao realizar a validação com dados experimentais da literatura, foram encontrados valores de MRD entre 3,1 % e 6,8 %.

Han et al. (2012) desenvolveram, através da linguagem de programação LabVIEW, uma simulação da secagem de grãos em secador de fluxo cruzado. O objetivo foi implementar um controle automático da temperatura do ar de secagem e da velocidade de descarga no sistema. O programa foi validado através da comparação dos resultados obtidos com os dados reais do secador modelo para a secagem de milho.

Chang et al. (2011) fizeram uma modelagem de não-equilíbrio, seguida pela simulação da secagem de grãos em camada espessa. A simulação foi realizada na linguagem Visual C++, adotando a abordagem de rede porosa de escala dupla. Foram obtidos resultados para as distribuições de temperatura, umidade e pressão no ar de secagem e também o perfil de umidade dos grãos. O milho foi utilizado no experimento de validação, obtendo desvios máximos menores que 7,4 %.

Por fim, Azmir, Hou e Yu (2018) também utilizaram o CFD, combinado ao método de elementos discretos, para modelar numericamente a secagem de grãos, porém em secador de leito fluidizado. As previsões do modelo foram comparadas a dados da literatura para secagem de milho, e apesar de grandes discrepâncias terem sido apontadas, estas foram justificadas pelas diferenças de dimensionamento entre os sistemas comparados.

Diante dos artigos mais citados analisados, observou-se o emprego de diversos tipos de secadores para a secagem de arroz com casca, contudo, o mais utilizado foi o secador de camada espessa, presente em oito dos quinze artigos. Destaca-se também a grande diversidade de linguagens de programação e *softwares* nas publicações, além da presença de vários tipos de modelos, o que corrobora a amplitude e constante evolução da área.

Outro ponto importante observado foi a necessidade da validação em todos os artigos, seja através de dados da literatura ou através de experimentos realizados pelos próprios

autores. A comparação entre as adequações destes modelos, porém, se tornou difícil considerando o uso de distintos parâmetros estatísticos.

Apesar de ser notória a busca dos autores em retratar a realidade, apenas um dos artigos (SARKER et al., 2015) apresentou um trabalho voltado para secadores industriais operacionais e em larga escala. Isso torna evidente uma lacuna de trabalhos publicados que atendam a demanda das indústrias na aplicação real ou para sistemas já operantes.

Também a partir da amostra (Quadro 2), foram verificados os indicadores de ligação, ou seja, possíveis relacionamentos entre os autores e coautores de diferentes países e centros de pesquisa. No âmbito internacional, três ligações foram estabelecidas. Na Figura 6, está representada a relação de dois grupos de pesquisa chineses, das cidades de Fujian e Jiangsu, com um grupo australiano de Melbourne.

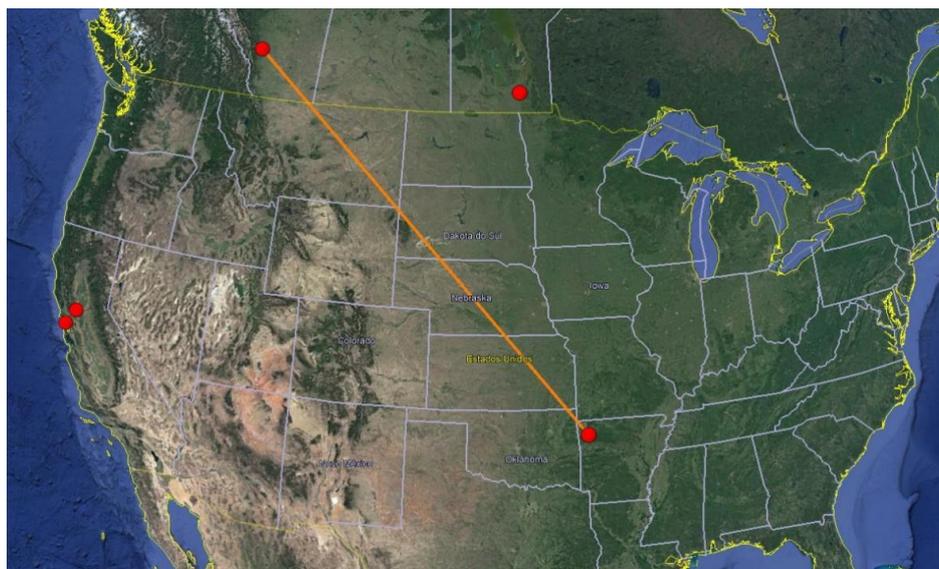
Figura 6: Relação entre os autores: China – Austrália



Fonte: O autor.

A outra ligação internacional encontrada foi retratada na Figura 7, entre grupos de pesquisa dos Estados Unidos da América e do Canadá, das cidades de Layetteville e Calgary, respectivamente. Além disso, também são observados três centros que trabalharam individualmente em suas publicações, dois localizados nos EUA e um no Canadá.

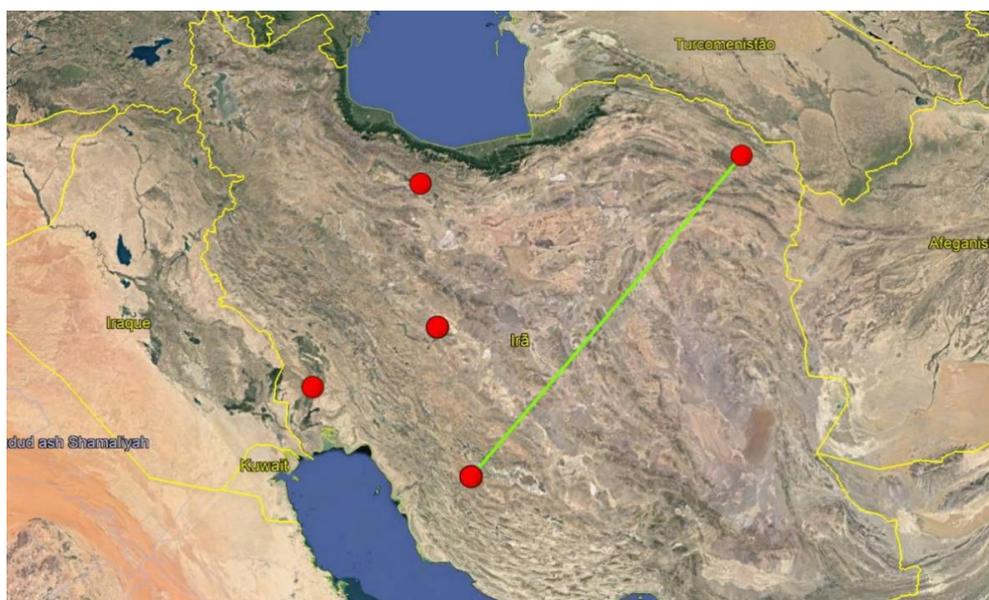
Figura 7: Relação entre os autores: Estados Unidos da América - Canadá



Fonte: O autor.

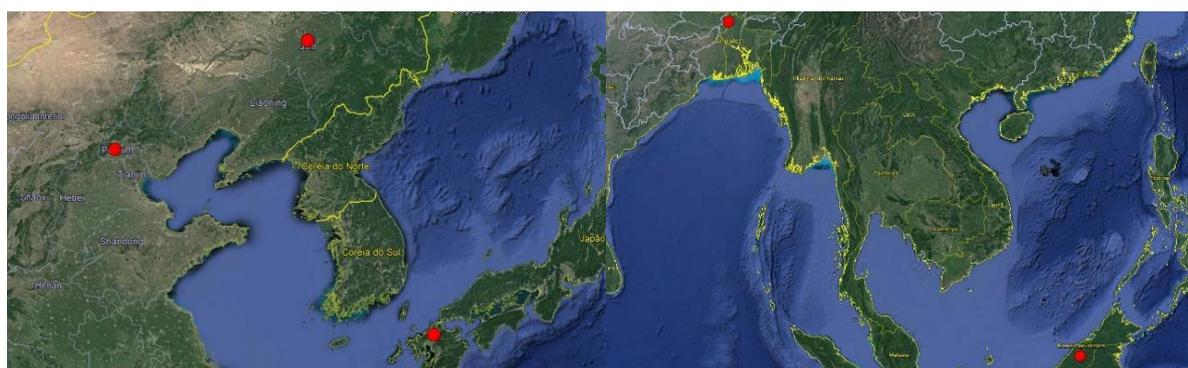
Também foram encontradas interações nacionais, como no caso do Irã, que além de contar com três grupos isolados (um deles responsável por duas das publicações da amostra), também apresentou uma interação entre grupos de pesquisa das cidades de Mashhad e Shiraz, que trabalharam juntos em uma das publicações avaliadas (Figura 8). Todos os demais grupos trabalharam individualmente, entre eles dois localizados na China, um no Japão, um em Bangladesh e um na Malásia, representados na Figura 9.

Figura 8: Relação entre autores: Irã



Fonte: O autor.

Figura 9: Relação entre os autores: China; Japão; Bangladesh e Malásia



Fonte: O autor.

A coleta dos dados, seguida da análise dos indicadores e dos artigos, tornou possível a identificação dos principais pontos positivos e negativos da modelagem e simulação da secagem de arroz com casca, que foram apresentados na forma de matriz SWOT (Quadro 3). Na matriz, as vantagens e desvantagens são listadas como suas forças e fraquezas, que são fatores internos ao processo. Os fatores externos são divididos em oportunidades e ameaças, que são as tendências alheias ao processo que podem contribuir ou prejudicar o seu uso.

Quadro 3: Matriz SWOT da modelagem e simulação da secagem de arroz com casca

Forças	Fraquezas
<ul style="list-style-type: none"> - Baixo custo para realização dos experimentos; - Tempo relativamente curto para obtenção dos resultados; - Permitem o entendimento de fenômenos físicos associados aos processos de secagem; - Possibilitam a previsão dos parâmetros e a otimização do sistema de secagem. 	<ul style="list-style-type: none"> - Resultados limitados às condições do estudo; - Grande número de parâmetros e variáveis envolvidas; - Modelos teóricos e semi-empíricos geralmente não podem ser usados como correlações gerais; - Modelos empíricos podem se tornar complexos por requererem grande número de considerações.
Oportunidades	Ameaças
<ul style="list-style-type: none"> - Desenvolvimento constante de <i>softwares</i> e programas mais elaborados e eficientes; - Demanda de modelos a serem aplicados em processos complexos, reais e em larga escala; 	<ul style="list-style-type: none"> - Maior complexidade do modelo limita aplicação e aumenta o tempo computacional; - Simplificações durante a modelagem

<ul style="list-style-type: none">- Proposição de design e testes de novos processos de secagem, além do controle e automatização de processos já existentes;- Modelos que possam ser aplicáveis a vários tipos de grãos.	matemática podem aumentar a ocorrência de erros.
--	--

Fonte: O autor.

3. Conclusões

A Revisão bibliométrica realizada a partir da base de dados *Web of Science* permitiu a identificação da maioria dos trabalhos recentes e de maior relevância na modelagem e simulação da secagem do arroz com casca. Área esta, que despertou o interesse do meio científico, principalmente nos EUA, entre as décadas de 1950 e 1970, mas que obteve maior crescimento a partir década de 1990 com a evolução dos *softwares e hardwares*.

A possibilidade de retratar de forma fidedigna o processo de secagem atrelado ao baixo custo e tempo de operação representam as maiores vantagens das técnicas de modelagem e simulação. Além disso, foi evidenciada a crescente demanda por modelos de simulação aplicáveis aos processos industriais, que possam ser utilizados no controle, automatização dos sistemas e como suporte à tomada de decisão durante a operação.

A busca por modelos matemáticos cada vez mais precisos tende a acarretar no aumento da complexidade e do número de considerações necessárias. Dessa forma, a aplicação acaba limitada a condições muito específicas. Contudo, não apenas a precisão dos resultados deve ser considerada na busca da implementação destes modelos, é imprescindível a utilização de programas de fácil acesso e manipulação, que sejam relativamente simples em concomitância ao bom desempenho.

Diante da demanda por trabalhos direcionados à aplicação prática e da grande importância da secagem no processamento do arroz com casca, a modelagem e a simulação representam ainda grande potencial a ser explorado. Parte considerável deste potencial está nos modelos, devidamente validados, que possam ser implementados nos processos buscando a diminuição das perdas qualitativas e quantitativas, bem como a redução dos custos operacionais.

Referências

ARAÚJO, C. A. Bibliometria: evolução, história e questões atuais. **Em Questão**, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 11-32, jan./jun. 2006.

ATUNGULU, G. G.; ZHONG, H.; SINGH, C. B.; OSBORN, G. S. e MAUROMOUSTAKOS, A. *Simulation and validation of on-farm in-bin drying and storage of rough rice. Applied Engineering in Agriculture*, v. 32, n. 6, p. 881-897, 2016.

AZMIR, J.; HOU, Q.; YU, A. *Discrete particle simulation of food grain drying in a fluidised bed. Powder Technology*, v. 323, n. 2018, p. 238-249, 2018.

BAKKER-ARKEMA, F.W.; BROOK, R.C.; LEREW, L. E. *Cereal grain drying*. In: POMERANZ, Y. *Advances in Cereal Science and Technology*. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1978. v.2, p. 1-45.

BARBETTA, P. A. **Estatísticas aplicadas às Ciências Sociais**. 7. ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2007. p. 340.

BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. *Cereal grain drying*. Westport: AVI, 1974. p. 398.

CHANG, J.; YUAN, Y.; YANG, D. e LIU, X. *Pore network model and simulation of transport process for grain drying. Chemical Engineering & Technology*, v. 34, n. 7, p. 1049-1056, 2011.

CHEN, C.; HU, Z.; LIU, S. e TSENG, H. *Emerging trends in regenerative medicine: a scientometric analysis in CiteSpace. Expert Opinion On Biological Therapy*, v. 12, n. 5, p. 593-608, 2012.

DIAMANTE, L.; MUNRO, P. *Mathematical modelling of the thin layer solar drying of sweet potato slices. Solar Energy*, v. 51, n. 4, p. 271-276, 1993.

ELGAMAL, R.; RONSSE, F.; ELMASRY, G. e PIETERS, J. G. *Development of a Multi-Scale Model for Deep-Bed Drying of Rice. Transactions of the ASABE*, v. 58, n. 3, p. 849-859, 2015.

ERTEKIN, C.; YALDIZ, O. *Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. Journal of Food Engineering*, v. 63, n. 3, p. 349-359, 2004.

GOMES, A.S.; MAGALHÃES JUNIOR, A.M. **Arroz Irrigado no Sul do Brasil**. Brasília: Embrapa Informação, p. 143-147, 2004.

GOMES, I. S.; CAMINHA, I. O. Guia para estudos de revisão sistemática: uma opção metodológica para as Ciências do Movimento Humano. **Movimento**, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 395-411, 2014.

HAN, F.; ZUO, C.; WU, W.; LI, J. e LIU, Z. *Model predictive control of the grain drying process*. **Mathematical problems in engineering**, v. 2012, ID 584376, p. 12, 2012.

HAWK, A.L.; NOYES, R.T.; WESTELAKEN, C.M.; FOSTER, G.M. e BAKKER-ARKEMA, F.W. *The present status of commercial grain drying*. In: **ASAE SUMMER MEETING**. Logan: American Society of Agricultural Engineering, 1978. p. 78-3008.

HUKILL, W. V. *Drying of grain*. In: ANDERSON, J. A., ALCOCK, A. W. **Storage of Cereal Grain and Their Products**. Saint Paul: American Society of Cereal Chemists, 1954. cap. 9. p. 402-435.

IGATHINATHANE, C.; CHATTOPADHYAY, P. K.; PORDESIMO, L. O. *Moisture diffusion modelling of parboiled paddy accelerated tempering process with extended application to multi-pass drying simulation*. **Journal of Food Engineering**, v. 88, n. 2, p. 239-53, 2008.

INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE (IRRI). **Paddy Drying**. Postharvest Unit, CESD, ver. 2, 2013. Disponível em: <<http://www.knowledgebank.irri.org/images/docs/training-manual-paddy-drying.pdf>>. Acesso em: 15 de agosto de 2018.

JULIANO, B. O. **Rice in human nutrition**. Rome: FAO, 1993. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/t0567e/T0567E00.htm#Contents>>. Acesso em: 07 de agosto de 2018.

KHANALI, M.; BANISHARIF, A.; RAFIEE, S. *Modeling of moisture diffusivity, activation energy and energy consumption in fluidized bed drying of rough rice*. **Heat and Mass Transfer**, v. 52, n. 11, p. 2541-2549, 2016.

LACERDA, R. T. O.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R. Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho. **Gestão & Produção**, v. 19, n. 1, 2012.

LAWRENCE, J.; ATUNGULU, G.; SIEBENMORGEN, T. *Modeling in-bin rice drying using natural air and controlled air drying strategies*. **Transactions of the ASABE**, v. 58, n. 4, p. 1103-1111, 2015.

MACIAS-CHAPULA, C. A. O papel da informetria e da cientometria e sua perspectiva nacional e internacional. **Ciência da Informação**, Brasília, DF, v. 27, n. 2, p. 134-140, maio/ago. 1998.

MIDILLI, A.; KUCUK, H. *Mathematical modeling of thin layer drying of pistachio by using solar energy. Energy Conversion and Management*, v. 44, n. 7, p. 1111-1122, 2003.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. *A new model for single-layer drying. Drying Technology*, v. 20, n. 7, p. 1503-1513, 2002.

MOREY, R.V.; KEENER, H.M.; THOMPSON, T. L.; WHITE, G.M. e BAKKER-ARKEMA, F.W. *The presente status of grain drying simulation. In: ASAE SUMMER MEETING*. Logan: American Society of Agricultural Engineering, 1978. p. 78-3309.

NAGHAVI, Z.; MOHEB, A.; ZIAEI-RAD, S. *Numerical simulation of rough rice drying in a deep-bed dryer using non-equilibrium model. Energy Conversion and Management*, v. 51, n. 2, p. 258-264, 2010.

OKUBO, Y. *Bibliometric Indicators and analysis of research systems: methods and examples. STI Working Papers*. Paris: OECD, p. 69, 1997.

PEREZ, J. H.; TANAKA, F.; TANAKA, F.; HAMANAKA, D. e UCHINO, T. *Three-Dimensional Numerical Modeling of Convective Heat Transfer During Shallow-Depth Forced-Air Drying of Brown Rice Grains. Drying Technology*, v. 33, n. 11, p. 1350-1359, 2015.

PRAKASH, B.; PAN, Z. *Effect of Geometry of Rice Kernels on Drying Modeling Results. Drying Technology*, v. 30, n. 8, p. 801-807, 2012.

PUTRANTO, A.; CHEN, X. D.; XIAO, Z. e WEBLEY, P. A. *Mathematical modeling of intermittent and convective drying of rice and coffee using the reaction engineering approach (REA). Journal of Food Engineering*, v. 105, n. 4, p. 638-646, 2011.

RANJBARAN, M.; EMADI, B.; ZARE, D. *CFD Simulation of Deep-Bed Paddy Drying Process and Performance. Drying Technology*, v. 32, n. 8, p. 919-934, 2014.

SANTOS, E. M.; NETO, J. D. O.; ARAÚJO, E. M.; OLIVEIRA, S. R. M.; BARBOSA, D. H.; ZANDER, V. T. **Educação à distância no Brasil: evolução da produção científica**. EESC-USP, Departamento de Engenharia de Produção: 2007. 11 p. Relatório de Pesquisa.

SARKER, M.; IBRAHIM, M.; AZIZ, N. A. e PUNAN, M. *Application of simulation in determining suitable operating parameters for industrial scale fluidized bed dryer during drying of high impurity moist paddy. Journal of Stored Products Research*, v. 61, p. 76-84, 2015.

SILVEIRA, H. **SWOT**. In: **Inteligência Organizacional e Competitiva**. Org. TARAPANOFF, K. Brasília: Editora UNB, 2001.

SOUZA, C. A organização do conhecimento: Estudo bibliométrico na base de dados ISI *Web of Knowledge*. *Biblios: Journal of Librarianship and Information Science*, n. 51, p. 20-32, 2013.

SPENCER, H. *A mathematical simulation of grain drying*. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v. 14, n. 3, p. 226-235, 1969.

THOMPSON, T.L. *Predicted performance and optimal design of convection grain dryers*. 1967. 85 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Purdue University, Agricultural Engineering Department, West Lafayette, 1967.

TOHIDI, M.; SADEGHI, M.; MOUSAVI, S. R. e MIREEI, S. A. *Artificial neural network modeling of process and product indices in deep bed drying of rough rice*. *Turkish journal of agriculture and forestry*, v. 36, n. 6, p. 738-748, 2012.

VAN EE, G.R.; KLINE, G. L. *Faldry - a model for low-temperature corn drying systems*. In: *ASAE WINTER MEETING*. Ames: American Society of Agricultural Engineering, 1979. p. 79-3524.

YALDIZ, O.; ERTEKIN, C.; UZUN, H. *Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes*. *Energy*, v. 26, n. 5, p. 457-465, 2001.

ZARE, D.; JAYAS, D.; SINGH, C. *A Generalized Dimensionless Model for Deep Bed Drying of Paddy*. *Drying Technology*, v. 30, n. 1, p. 44-51, 2012.