

Área: Sustentabilidade | **Tema:** Resíduos e Reciclagem

MONTAGEM DE UM PROTÓTIPO DE LEITO DE JORRO PARA SECAGEM DE ARROZ

PROTOTYPE MOUNTING OF AN ANNULAR FLUIDIZED BED FOR RICE DRYING

Crisleine Perinazzo Draszewski, Lauri Vilmar Krebs Júnior, Juliane Falk Bueno, Francisco Dalcin Vezaro,

Emanuele Dos Santos Silva e Isaac Dos Santos Nunes

RESUMO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma cultura versátil com grande potencial de combate à fome no mundo que deve ser armazenado com baixa umidade para que não ocorra deterioração. Devido à grande quantidade desse grão produzido esse deve ser seco em tempo adequado para que seja evitado as modificações em suas propriedades por atividade indesejável microbiológica. Para que sejam secos adequadamente os grãos de arroz devem ser submetidos a sistemas de secagem de alta eficiência. Os leitos fluidizados são caracterizados por apresentarem partículas suspensas e distanciadas entre si que não sofrem arraste quando submetidas ao escoamento da fase fluida. Estes leitos podem ser empregados na secagem de partículas pois fundamentam-se na injeção de fluido em um sistema. O objetivo do trabalho foi construir um leito de jorro com materiais simples para a secagem de grãos de arroz. Para a confecção do protótipo foram utilizados materiais reciclados e de baixo custo e com auxílio de desenho assistido por computador pode se projetar o arranjo físico do sistema. Empregou-se o protótipo para a secagem de arroz integral com aproximadamente 6% de umidade, onde observou-se um decaimento de cerca de 81% da umidade dos grãos.

Palavras-Chave: Leito de Jorro, Fluidização, Secagem, Arroz.

ABSTRACT

Rice (*Oryza sativa* L.) is a versatile crop with enormous potential against hunger in the world that must be stored with low humidity to avoid deterioration. Due to the large amount of this grain produced it must be dried in a suitable time so that modifications in its properties by microbiological undesirable activity are avoided. In order to adequately dry the rice grains they must be submitted to high efficiency drying systems. The fluidized beds are characterized by having suspended and spaced particles which are not dragged when subjected to the flow of the fluid phase. These beds can be used in particles drying because they are based on the injection of fluid in a system. The work objective was to build an annular fluidized bed with simple materials to dry rice grains. For the manufacture of the prototype it was used recycled and low-cost materials and with the aid of computer-aided design the physical arrangement of the system can be projected. The prototype was used for brown rice drying with approximately 6% moisture, where it was observed a decrease of about 81% of the grains moisture.

Keywords: Annular Fluidized Bed. Fluidization. Drying. Rice.

Eixo Temático: Resíduos e Reciclagem

MONTAGEM DE UM PROTÓTIPO DE LEITO DE JORRO PARA SECAGEM DE ARROZ

PROTOTYPE MOUNTING OF AN ANNULAR FLUIDIZED BED FOR RICE DRYING

RESUMO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma cultura versátil com grande potencial de combate à fome no mundo que deve ser armazenado com baixa umidade para que não ocorra deterioração. Devido à grande quantidade desse grão produzido esse deve ser seco em tempo adequado para que seja evitado as modificações em suas propriedades por atividade indesejável microbiológica. Para que sejam secos adequadamente os grãos de arroz devem ser submetidos a sistemas de secagem de alta eficiência. Os leitos fluidizados são caracterizados por apresentarem partículas suspensas e distanciadas entre si que não sofrem arraste quando submetidas ao escoamento da fase fluida. Estes leitos podem ser empregados na secagem de partículas pois fundamentam-se na injeção de fluido em um sistema. O objetivo do trabalho foi construir um leito de jorro com materiais simples para a secagem de grãos de arroz. Para a confecção do protótipo foram utilizados materiais reciclados e de baixo custo e com auxílio de desenho assistido por computador pode se projetar o arranjo físico do sistema. Empregou-se o protótipo para a secagem de arroz integral com aproximadamente 6% de umidade, onde observou-se um decaimento de cerca de 81% da umidade dos grãos.

Palavras-chave: Leito de Jorro, Fluidização, Secagem, Arroz.

ABSTRACT

Rice (*Oryza sativa* L.) is a versatile crop with enormous potential against hunger in the world that must be stored with low humidity to avoid deterioration. Due to the large amount of this grain produced it must be dried in a suitable time so that modifications in its properties by microbiological undesirable activity are avoided. In order to adequately dry the rice grains they must be submitted to high efficiency drying systems. The fluidized beds are characterized by having suspended and spaced particles which are not dragged when subjected to the flow of the fluid phase. These beds can be used in particles drying because they are based on the injection of fluid in a system. The work objective was to build an annular fluidized bed with simple materials to dry rice grains. For the manufacture of the prototype it was used recycled and low-cost materials and with the aid of computer-aided design the physical arrangement of the system can be projected. The prototype was used for brown rice drying with approximately 6% moisture, where it was observed a decrease of about 81% of the grains moisture.

Keywords: Annular Fluidized Bed. Fluidization. Drying. Rice.

1 INTRODUÇÃO

O arroz é um alimento que fornece 20% da energia e 15% da proteína per capita necessária ao homem, bastante versátil, costuma se adaptar a diferentes condições de solo e clima sendo considerado uma espécie com grande potencial para o combate à fome no mundo (EMBRAPA, 2016).

A produção de arroz (*Oryza sativa* L.) é uma das atividades agrícolas mais importantes em todo o mundo, com produção anual estimada em cerca de 480 milhões de toneladas, sendo a terceira “commodity” agrícola mais produzida do mundo, atrás apenas de cana-de-açúcar e milho (USDA, 2015). Embora a produção esteja distribuída por todo o país, a maioria desta está concentrada na região centro-sul e, para esta região, cerca de 10 milhões de toneladas são colhidas em cada safra (CONAB, 2016).

O arroz é um cereal importantíssimo papel na dieta da população brasileira, pois fornece ricos nutrientes, tais como carboidratos, proteínas, cálcio e vitaminas. Trata-se de um produto sazonal e necessita, portanto, ser armazenada para satisfazer a demandas industriais e comerciais, bem como propiciar aos produtores preços mais elevados para a venda na entressafra. A armazenagem deve ser conduzida de forma adequada, objetivando eliminar a deterioração do produto (LEHN & PINTO, 2004).

Nota-se que a umidade é um dos elementos que governam a qualidade do produto armazenado. Quando ocorre sua maturação fisiológica, o arroz apresenta de 25% a 30% de umidade, em base úmida. Tais valores são elevados em relação à recomendada para armazenagem segura, cujo valor é de 12%, em base úmida, para o arroz em casca. Ressalte-se que a secagem também é fundamental para a conservação das qualidades nutricionais e organolépticas desenvolvidas durante a fase de campo (CREMASCO, 2014).

Bihain (2011) argumenta que o teor de umidade pode ser considerado o fator mais importante na manutenção da qualidade dos produtos armazenados, pois a conservação da umidade em nível adequado para a armazenagem minimiza o desenvolvimento de microorganismos e pragas.

Garcia *et al.* (2004) descreve que a secagem de sementes, além de contribuir para a preservação da qualidade fisiológica durante o armazenamento, possibilita a antecipação da colheita evitando perdas ocasionadas por fenômenos meteorológicos e pela proliferação de pragas durante sua estadia em terra. Além disso a escolha do método de secagem é limitante pelo quantidade de sementes, visto que quanto maior o número de grãos maior a dificuldade de realizar a secagem por vias naturais, sendo assim imprescindível a utilização de secagem artificial, cujo os custos de operação estão relacionados com volume, velocidade de secagem e temperatura do ar.

A secagem de produtos alimentícios pode ser definida como um processo simultâneo de transferência de calor e massa entre o produto e o ar de secagem, que consiste na remoção da umidade excessiva contida no interior do produto por meio de evaporação, causada por convecção forçada de ar aquecido, de modo a permitir a manutenção da qualidade durante o armazenamento por longos períodos de tempo (AFONSO JUNIOR & CORRÊA, 1999).

Para evitar danos ao arroz, quando se destina ao plantio, a temperatura de secagem deve se situar entre 42 e 45°C. Na secagem de grãos para consumo, a temperatura do ar não deve ultrapassar a 70°C. No armazenamento, o arroz para ser melhor conservado deve estar limpo e com teor de umidade entre 13 e 14% (NUNES, 2012). Portanto, entender como se processa distribuições de umidade dentro de um grão de arroz são importantes para analisar as características de secagem e formação de fissura.

1.1 Sistemas de secagem

Existem vários métodos que podem ser utilizados para fornecer calor para o material, dentre eles, existe a secagem convectiva (em leito fixo ou móvel) que é uma das mais utilizadas para remover a umidade de uma grande variedade de materiais biológicos, incluindo grãos e sementes. Os coeficientes de transporte convectivos de calor e massa na superfície do material estão relacionados com uma pequena camada de ar que envolve o material durante o processo de secagem, denominada camada limite. Esse processo, consiste na redução do teor de água 34 do produto por meio da passagem forçada de ar aquecido, com baixa umidade relativa, através do produto. A redução do teor de água provoca diminuição da massa, do volume, do crescimento de fungos e da atividade enzimática e microbiana (VILLA-CORRALES *et al.*, 2010).

A secagem em estufa, leito fixo, por exemplo, consiste em uma câmara de isolamento térmico apropriado e com sistemas de aquecimento e ventilação do ar circulante sobre as bandejas ou através das bandejas. Neste tipo de secador o produto é colocado em bandejas ou outros acessórios similares sendo exposto a uma corrente de ar quente em ambiente fechado. Durante o processo de secagem convectiva ocorrem transferências simultâneas de calor e massa, onde água é transferida por difusão de dentro do grão para a interface ar-grão e da interface para a corrente de ar por convecção. Assim um dos problemas da secagem em leito fixo está relacionada a taxa de transferência de calor e massa, uma vez que ambos têm que ser transferidos através do leito por inteiro para que ocorra o acesso em cada partícula.

A partir disso surge a necessidade de sistemas aonde a transferência de calor e massa seja maximizada.

1.1 Leitos fluidizados

Em processos de industrialização de alimentos que envolvem sistemas particulados são aplicados diversos tipos de leitos. Os leitos possuem princípios semelhantes, porém apresentam diferenças em seu funcionamento, por exemplo, a existência ou não de fluidização, ou uso de vibração, entre outros. A escolha do leito depende do tipo de material e da operação unitária envolvida no processo (TADINI *et al.*, 2016).

Os leitos fluidizados são definidos por possuírem partículas suspensas e distanciadas que não sofrem arraste quando submetidas ao escoamento da fase fluida. Estes leitos são extensamente empregados em processos industriais por proporcionarem mistura intensa entre as fases fluida e particulada criando elevadas taxas de transferência de calor e massa, acarretando assim na uniformidade da distribuição de temperatura e de concentração de fases no interior do equipamento (CREMASCO, 2014).

Exemplos típicos de aplicações industriais de leitos fluidizados incluem sínteses e reações catalíticas, regeneração catalítica, combustão e gaseificação de carvão. Os leitos fluidizados são também empregados em processos físicos como, por exemplo, na secagem de partículas, recobrimento e granulação de sólidos (CREMASCO, 2014).

Secar um sólido significa eliminar quantidades relativamente pequenas de água, ou de outro líquido, contidas em um material sólido, com a finalidade de reduzir o conteúdo de líquido residual a um valor relativamente mais baixo (McCABE & SMITH, 1978).

Esta umidade só pode migrar para o ar seco mediante a difusão através das fibras da parede. Na secagem de um sólido úmido, mediante gás a uma temperatura e a uma umidade fixa, manifesta-se sempre um certo tipo de comportamento. Imediatamente do contato entre a amostra e o meio secante, a temperatura do sólido ajusta-se até atingir um regime permanente (FOUST *et al.*, 2013).

Os regimes fluidodinâmicos na fluidização dependem das características da fase particulada (distribuição granulométrica, tamanho médio das partículas, forma, massa específica) e da fase fluida (viscosidade dinâmica, massa específica), bem como das condições operacionais da coluna (temperatura e vazão da fase fluida, compactação da fase particulada, altura efetiva, diâmetro) (CREMASCO, 2014).

Segundo Cremasco. (2014) a diferença fluidodinâmica entre o leito fixo e o fluidizado é que este pode ser tratado, no mínimo, como leito expandido, ou seja, há certa distância entre as partículas, diferentemente do que acontece no leito fixo, onde as partículas sempre estão em contato umas com as outras.

A técnica de leito de jorro foi estabelecida inicialmente por Gishler e Mathur em 1955 (FREIRE & SARTORI, 1992), visando à secagem de trigo. Contudo, o leito de jorro tem sido aplicado em diversos processos industriais, como secagem, recobrimento de partículas, mistura de sólidos, limpeza de gases, granulação, gaseificação, combustão e pirólise nas indústrias químicas e farmacêutica, enquanto na área agrônoma são empregados no tratamento de algumas espécies de sementes. Esse tipo de leito promove, por meio do movimento cíclicos, um efetivo contato entre o fluido e o sólido particulado (TADINI *et al.*, 2016).

As altas taxas de transferência de calor e de massa e a estabilidade do controle da temperatura no interior do leito são suas principais vantagens, enquanto as desvantagens desse tipo de leito são associadas às dificuldades no estabelecimento de regime fluidodinâmico estável em grande escala (FOUST *et al.*, 2013).

A técnica do leito de jorro é utilizada para promoção do contato fluido-partículas no caso de partículas excessivamente grandes para contato normal de fluidização. É caracterizado pelas grandes taxas de circulação de partículas promovendo a mistura intensa através do contato íntimo entre as fases fluida e particulada. Devido a essas particularidades é bastante empregado em processos de recobrimento, reações químicas gás-partículas, secagem de cereais e pastas além de outras (CREMASCO, 2014).

O leito de jorro é formado em virtude da injeção de um fluido através de um leito de partículas, por meio da sua injeção por um orifício junto à base da coluna, provocando um canal preferencial de escoamento desse fluido no leito de partículas. Esse leito, como no fluidizado, fica contido em um vaso, o qual pode ter configuração cônica ou, mais usualmente, ser constituído de uma coluna cilíndrica assentada sobre uma base tronco-cônica (CREMASCO, 2014).

O fluido injetado no sistema a baixas vazões apenas vai percolar pelo leito, caracterizando-o como fixo. A partir de um determinado valor de velocidade do fluido ocorrerá o movimento ascendente das partículas, originando uma cavidade central com porosidade maior do que aquela encontrada na situação de leito fixo. Esta cavidade aumenta na proporção em que se incrementa o valor da velocidade superficial de fluido, até proporcionar a formação de uma fonte de partículas que, por sua vez, permitirá o retorno dessas partículas para a região anular, estabelecendo um movimento cíclico (CREMASCO, 2014).

Do ponto de vista fluidodinâmico os principais parâmetros ligados ao projeto de equipamentos de leito de jorro são: a perda de carga em função da vazão do fluido, a perda máxima de carga, a velocidade mínima de jorro e a altura mínima de jorro instável (TADINI *et al.*, 2016).

A perda máxima de carga é um parâmetro que juntamente com o valor da velocidade mínima de jorro, fornece dados necessários para a especificação do soprador. A velocidade mínima de jorro, é estabelecida como a menor velocidade superficial do fluido na qual o jorro ainda existe (TADINI *et al.*, 2016).

Através do conhecimento da altura máxima de jorro estável possibilita-se estimar a quantidade de material que pode ser processado em um equipamento. Esta variável é definida como a altura do leito da qual o jorro se torna instável (TADINI *et al.*, 2016).

2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

2.1 Obtenção e preparo da amostra.

As amostras de arroz integral foram obtidas em mercado da região de Santo Ângelo, Rio Grande do Sul, provenientes da safra de 2017/2018. As biomassas foram secas em estufa por 24 h em 60°C.

A umidificação do arroz foi realizada através da exposição ao vapor d'água por 10 minutos, para isto foi utilizado um bquer com água e uma manta de aquecimento. Ao entrar em ebulição colocou-se o arroz em uma peneira sob o vapor com movimentos constantes para que todo o arroz recebesse umidade de forma uniforme. Para determinar a umidade percentual pesou-se a massa de arroz antes e após a exposição em uma balança analítica da marca Gehaka com uma precisão de 0,0001 g.

Para a construção do protótipo foi realizado um desenho em autocad no formato 3D de maneira que fosse possível projetar o sistema e se determinar tanto os materiais a serem utilizados, quanto suas medidas.

Assim um tubo de acrílico com 33,8 cm de altura e 9,5 cm de diâmetro externo, na parte inferior foi acoplado a um cone confeccionado em garrafa PET, tendo um orifício de acesso do fluido ao leito de 6,6 cm de diâmetro. Duas mangueiras transparentes parcialmente preenchidas com água e corante industrial foram utilizadas como manômetro. Na parte superior do leito utilizou-se uma tela para evitar a saída das partículas durante a secagem.

O fluido foi adicionado ao leito por meio de um pequeno ventilador na carcaça de um secador. Para se evitar a centrifugação das partículas adicionaram-se também aletas construídas em isopor. Com o intuito de aumentar a potência do ventilador ligou-se este a uma fonte de alimentação CC/AC.

Utilizou-se o protótipo para secar 166,67 g de arroz integral com aproximadamente 6,05% de umidade induzida pelo processo de umidificação. O tempo de passagem de fluido pelo leito foi de 1 h em velocidade aproximada de 4,6 m/s, conforme aferido por um anemômetro. Realizaram-se pesagens dos grãos a cada dez minutos para verificar o decaimento da umidade ao longo do experimento. A temperatura ambiente foi de 18,3° C e a umidade relativa do ar de 64% conforme o medidor de umidade e temperatura da Incoterm.

O percentual da umidade da massa de grãos no decorrer do procedimento foi avaliado através da Equação 1

$$Umidade (\%) = \left[\frac{(m_u - m_s)}{m_s} \right] \times 100 \quad (1)$$

Sendo m_u corresponde a massa de grãos umidificados e m_s a massa de grãos seca anterior ao processo de umidificação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Primordialmente realizou-se a construção do protótipo conforme Figura 1 e posteriormente realizou-se a umidificação do arroz, onde as massas de grãos de arroz secos e umidificados foram avaliadas.

Figura 1. Protótipo de leito de jorro finalizado acoplado a uma placa de madeira



Fonte: os autores

Com relação ao resultado de umidade, pode-se expor que a massa seca de grão apresentou 157,17 gramas enquanto que a massa de grãos oriunda do processo de umidificação apresentou 166,67 gramas.

A umidade dos grãos durante o processo de secagem foi avaliada através da Equação (1) onde introduziu-se os valores obtidos do processo de pesagem nos intervalos de tempo determinados. Após a pesagem inicial da massa de grãos do processo de umidificação verificou-se que a mesma apresentou umidade de 6,05%. Esse valor de umidade foi considerado ideal tendo em vista que fica próximo do teor de umidade exposto pelo trabalho de Moura. *et al.*, (2012), que foi de 7,15% para o arroz integral e assim pode ser usado como referência para posterior comparação de sua efetividade. Fixado o valor de umidade o ensaio de secagem foi realizado por 60 minutos e após o término foi verificado através da pesagem que a massa final foi de 158,97 g, apresentando uma umidade final de 1,15% no arroz.

O percentual de redução da umidade foi determinado por meio da Equação 2, onde introduziu-se os valores obtidos de umidade inicial e final. Totalizando assim uma umidade de 1,15 %, ou seja, redução de aproximadamente de 81,00% da umidade.

$$Ur (\%) = \frac{Uf * 100}{Ui} - 100 \quad (2)$$

Onde Ur é a porcentagem de umidade removida ao final do experimento, Uf é a umidade obtida ao final do experimento, Ui é a umidade obtida anteriormente na Equação 1.

Na Figura 2, encontram-se os valores da umidade relativos ao experimento de secagem coletados em intervalos de tempo de 10 minutos, até 60 minutos.

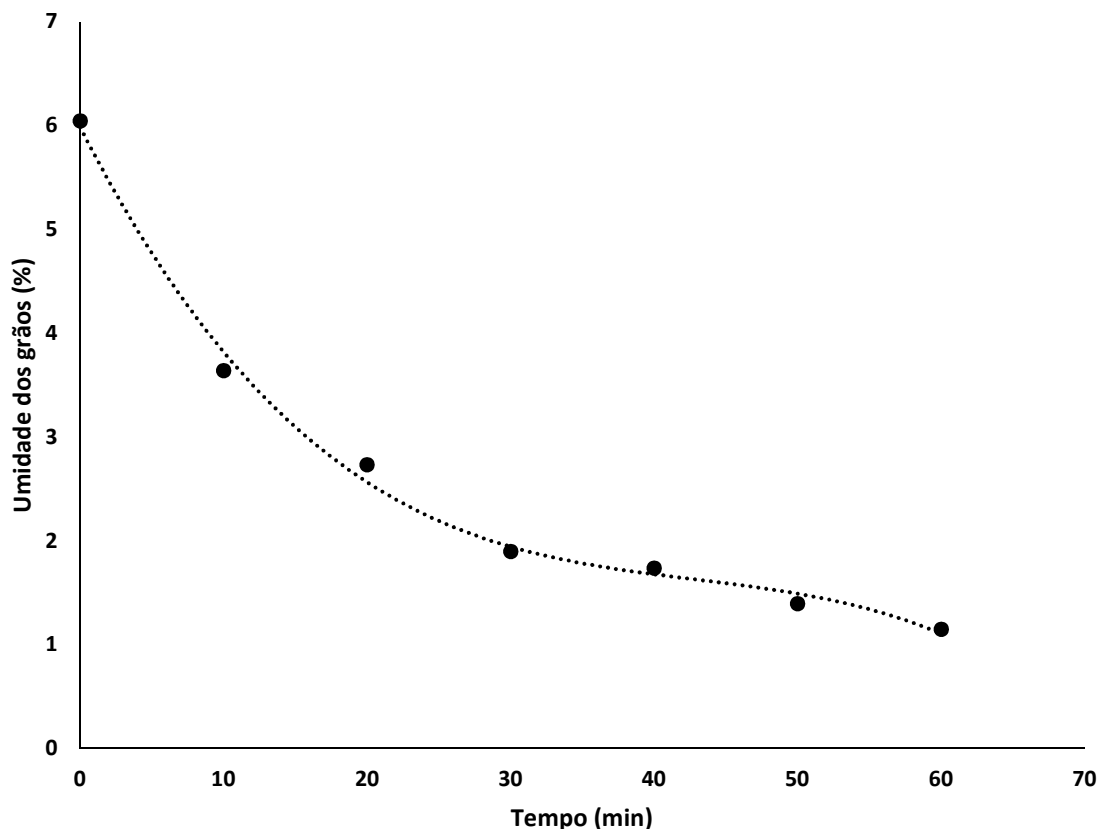
Observa-se que a queda da umidade dos grãos foi mais acentuada nos primeiros 20 min do experimento, esse fenômeno provavelmente relaciona-se a maior resistência a transferências de água no interior do produto, tornando a taxa de evaporação superficial superior à taxa de reposição de água na superfície do produto (ARAUJO *et al.*, 2017) outro fator que pode ter colaborado para este comportamento foi o do processo de umidificação, onde os grãos foram umidificados através da passagem de vapor pela superfície do mesmo, acarretando numa maior taxa de umidade superficial de que no interior do grão.

A secagem tende a possuir uma tendência de decaimento exponencial de umidade até que se atinja o equilíbrio (GASPARIN *et al.*, 2017) todavia neste experimento observou-se o decaimento como um polinômio de terceira ordem, assim, o R² para este experimento apresentou o valor de 0,9945.

Considerando-se que o fluido de passagem foi empregado em temperatura ambiente, a eficiência não foi máxima, restando ainda uma pequena quantidade de umidade no sólido. Este processo poderia ser otimizado aplicando-se fluido a uma temperatura mais alta do que a ambiente, ou mesmo utilizando-se ar com menor umidade. Entretanto assim como o descrito por Villela (1991) durante o processo de secagem, as sementes sofrem mudanças físicas, provocadas por gradientes de temperatura e umidade, que ocasionam expansão, contração e alterações na densidade e porosidade. Onde o processo de secagem utilizando aquecimento pode provocar fissuras internas ou superficiais, tornando as sementes mais suscetíveis à quebra durante seu transporte, e no caso do arroz, principalmente durante o processo de brunimento, pois as sementes de arroz quando quebradas são desvalorizadas em cerca de 50% na hora de sua comercialização.

Assim uma forma alternativa ao aumento da temperatura na secagem, para prevenir a desvalorização dos grãos seria a utilização de um tempo maior de permanência do sólido no sistema, provavelmente também acarretaria melhor desempenho do processo. É importante avaliar o que foi realizado pela literatura para a secagem do arroz através de diferentes metodologias de secagem, assim são expostos na Tabela 1 alguns trabalhos que realizaram a secagem do arroz integral para verificação da eficiência dos mesmos com relação a remoção da umidade.

Figura 2. Decaimento da umidade dos grãos de arroz integral no decorrer do experimento.



Fonte: os autores

A Tabela 1, apresenta diferentes métodos de secagem para o arroz, empregadas recentemente pela literatura, a fim de comparar a eficácia dos métodos utilizados por cada autor.

A partir do que é exposto pela Tabela 1 é possível observar que quando se utiliza o sistema de secagem por estufa com recirculação de ar a remoção da umidade fica próximo do valor de 60% o que demonstra que a dificuldade na transferência de calor e massa para esse arranjo físico de secagem. Porém Antunes (2017) destaca que a remoção da umidade possui interferência da genética de cada arroz, das condições de plantio e ambientais da lavoura.

O trabalho realizado por Silva (2016 b) apresentou a maior porcentagem de umidade removida, toda via o autor verificou que apesar da eficiência do leito fixo utilizado, a umidade migrou do centro para a superfície do grão, enquanto o calor fluiu da superfície para o centro, gerando gradientes térmicos e hídricos responsáveis pela ocorrência de tensões, trincas e deformações que podem comprometer a qualidade do produto.

Tabela 1. Metodologias de secagem para o arroz empregadas recentemente pela literatura.

Método	Temperatura (°C)	Umidade removida (%)	Referência
Convectiva	40	60	ANTUNES, 2017
Micro-ondas	40	66	SILVA, 2016 (a)
Leito fixo	40	96,8	SILVA, 2016 (b)
Contínua	40	72	FRANCO, 2016
Intermitente	70	68	Franco, 2016

Segundo Silva (2016 a) a secagem por micro-ondas dos grãos de arroz apresentou um comportamento decrescente em relação a taxa de secagem, independente da potência utilizada. Porém a potência aplicada, a temperatura no interior do grão e a geometria do arroz, influenciaram na cinética da secagem.

Ao contrário do esperado a secagem por micro-ondas não apresenta uma elevada satisfatoriedade apesar de possuir uma secagem que ocorre de dentro para fora, porém o autor não fez uso de potências elevadas para não danificar a parte interna dos grãos.

Já a secagem intermitente produz temperatura mais baixa na superfície do grão, o que é de interesse na secagem de materiais sensíveis. Uma combinação de menor temperatura na superfície com períodos de têmpera mais longos pode ser um método para melhorar a qualidade do produto em relação às condições na superfície, porém a contínua quando utilizada como comparação apresenta uma maior eficiência e um menor gasto energético para um tempo igual de experimentação (FRANCO, 2016).

4 CONCLUSÃO

Através da montagem do protótipo de leito de jorro com materiais simples usados no dia a dia, foi possível realizar a secagem do arroz umidificado. Foi possível obter uma eficiência de 81% utilizando o protótipo montado. Vale salientar que essa eficiência fica acima dos resultados expostos pela literatura, com exceção do trabalho que utilizou secagem em leito fixo que obteve um rendimento de 96,8%, mas que indesejavelmente danificou internamente os grãos. Para futuros trabalhos tem-se a possibilidade de otimizar o processo através do emprego de ar seco como também da variação de temperatura.

6 REFERÊNCIAS

- A. S. FOUST, L. A. WENZEL, C. W. CLUMP, L. MAUS, L. B. ANDERSEN; “Princípio das operações unitárias”. Ed. LTC, Rio de Janeiro, 2013.
- AFONSO JÚNIOR, P.C.; CORRÊA, P.C. Comparação de modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem em camada fina de sementes de feijão. Revista Brasileira de Engenharia agrícola e ambiental, v.3, n.3, p.349-353, 1999.

ANTUNES, B. S. “Estudo do Rendimento de Engenho das cultivares 409, Puita e Guri de Arroz em Secador Piloto a 40°C.” Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Agrícola, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha e da Universidade Federal do Pampa, Alegrete, Rio Grande do Sul, 2017.

ARAUJO, Willian Dias; GONELI, André Luís Duarte; HARTMANN FILHO, Cesar Pedro. Modelagem matemática da secagem dos frutos de amendoim em camada delgada. *Ciência Agrônômica*, Fortaleza, v. 48, n. 3, p.448-457, jul. 2017.

BIHAIN, A. L. J. Modelagem matemática da influência da umidade do ar, sobre a dinâmica de secagem de grãos de soja em camada fina. Dissertação de Mestrado – Universidade Regional do Noroeste do estado do RS. – UNIJUI. Ijuí. 138 f. 2011

C. C. TADINI, V. R. N. TELIS, A. J. A. MEIRELLES, P. A. P. FILHO; “Operações unitárias na indústria de alimentos”. Ed. LTC, Rio de Janeiro, 2016. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Cultivo do Arroz Irrigado no Brasil. 2016. Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducao6_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=5101&p_r_p_-996514994_topicoId=5515>. Acesso em: 29 jun. 2017.

CONAB. Follow-up of brazilian safra 2015/2016- grains eleventh survey. **National supply company**, v. 11, p. 1-176, 2016. ISSN 2318-6852.

FRANCO, C. M. R. “Modelagem, simulação e experimentação da secagem contínua e intermitente de sólidos elipsoidais.” Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2016.

GARCIA, D. C.; BARROS, A. C. S. A.; PESKE, S. T.; MENEZES, N. L. de. “A Secagem de Sementes.” **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 603-608, 2004.

GASPARIN, Priscila Pigatto; CHRIST, Divair; COELHO, Silvia Renata Machado. Secagem de folhas *Mentha piperita* em leito fixo utilizando diferentes temperaturas e velocidades de ar. *Ciência Agrônômica*, Fortaleza, v. 48, n. 2, p.242-250, abr. 2017.

LEHN, D. N.; PINTO, L. A. A. “Isotermas e curvas de secagem para arroz em casca em silos de armazenagem.” **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 12, n. 3, p. 177-191, 2004.

M. A. CREMASCO; “Operações unitárias em sistemas particulados e fluidodinâmicos”. Ed. Blucher, São Paulo, 2014.

MOURA, L. B. M., COSTA , L. S.; SILVA, R.; MOURA, V. **Determinação dos Teores de Umidade de Grãos de Arroz Através de Análises Térmicas**. 52º Congresso Brasileiro de Química Recife/PE 2012.

NUNES, J. L. S. Colheita & pós-colheita. (2012). Disponível em: <http://www.agrolink.com.br/culturas/arroz/colheita.aspx> . Acesso em: 22/06/2018.

SILVA, E. G. da. “Secagem combinada (convectiva e micro-ondas) de sólidos esferoidais prolatos: modelagem, simulação e experimentação.” 2016. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2016 (a).

SILVA, J. V. da. “Secagem de grãos de arroz em leito fixo: modelagem, simulação e experimentação.” 2016. 138 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2016 (b).

USDA. **Food Price policy in an era of market instability**. Colorado, United States: 2015.

VILLA-CORRALES, L.; FLORES-PRIETO, J. J.; XAMÁN-VILLASEÑOR, J.P.; GARCÍAHERNÁNDEZ, E. Numerical and experimental analysis if heat and moisture transfer during drying of Ataulfo mango. *Journal of Food Engineering*, v. 98, p. 198–206, 2010.

VILLELA, F.A. Efeitos da secagem intermitente sobre a qualidade de sementes de milho. 1991. 104f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Esalq-USP.

W. L. McCABE, J. C. SMITH; “Operaciones básicas de ingeniería química”. Ed. Reverté, Barcelona, 1978.