

Avaliação das propriedades aerodinâmicas e fisiológicas de grãos de milho pipoca secados sob diferentes temperaturas.

Dienifer de Araújo Lima^{1*} (IC), José Henrique da Siva Taveira¹ (PQ), Welysson Rafael Costa Santos¹ (IC), Osvaldo Resende² (PQ), Jaqueline Ferreira Vieira Bessa² (PG), Sandriane Araújo Borges² (PG), Angelina Maria Marcomini Giongo² (PQ)

1 Via Protestado Joaquim Bueno, nº 945 – Universidade Estadual de Santa Helena de Goiás – GO, Brasil, CEP 75.920-000; *e-mail: dieneferaraujo@gmail.com;

2 Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, Rio Verde – GO, CEP: 75.901-970 – Brasil – Instituto Federal Goiano;

Resumo: As operações de secagem apresentam altos custos como a utilização de mão de obra, o tempo de secagem e, principalmente, o consumo de energia. Entretanto, esses custos podem ser reduzidos de forma significativa se for realizado um estudo visando o controle das propriedades envolvidas no processo. O presente trabalho objetivou avaliar a influência da secagem com diferentes temperaturas, nas propriedades aerodinâmicas e fisiológicas do milho pipoca. A secagem foi realizada em estufa com três temperaturas (40, 60 e 40/60°C) para cinco teores de água (27, 23.5, 20, 16.5 e 13 % b.u.) com três repetições. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado e os dados foram analisados utilizando os programas Sisvar 5.6 e R 3.0.2., os parâmetros avaliados foram velocidade terminal ($m s^{-1}$) e condutividade elétrica ($\mu S cm^{-1} g^{-1}$). O valor da velocidade terminal aumentou com a redução do teor de água para todas as temperaturas, diferindo-se de outros trabalhos realizados com grãos de outras culturas e a temperatura de 60°C obteve as maiores médias de condutividade elétrica em relação as temperaturas de secagem de 40°C e 40/60°C.

Palavras-chave: Velocidade terminal. Condutividade elétrica. Secagem.

Introdução

O milho-pipoca (*Zea mays* L.) pertence à família *Poaceae*, é uma cultura alógama, com praticamente 100% de fecundação cruzada (PATERNIANI; CAMPOS, 2005). Um aperitivo muito apreciado em todo o mundo, seu grande sucesso se deve, em parte, à associação da pipoca a locais de diversão e também pelo seu valor nutricional e baixa quantidade de calorias. (POPCORN, 2015).



É um alimento apreciado no mundo todo, de fácil preparo e possui compostos benéficos à saúde humana, como fenólicos e antocianinas que são antioxidantes. Se caracteriza por estourar quando submetido à fonte de calor, isso ocorre devido a umidade em seu interior que é transformada em vapor, que contido pelo pericarpo aumenta a pressão no interior do grão, quando o pericarpo se rompe a estrutura do endosperma está gelatinizada formando a pipoca (BARBOSA et al, 2016).

O consumo brasileiro tem aumentado exponencialmente, mostrando um mercado promissor que só cresce no país e que depende da importação para atender a sua demanda de consumo (FREIRE, 2015).

O objetivo básico na secagem de produtos alimentícios é a remoção da água do sólido até um certo nível em que a atividade microbiana e reações químicas de deterioração são altamente minimizadas (KROKIDA et al., 2003).

As operações de secagem apresentam altos custos como a utilização de mão de obra, o tempo de secagem e, principalmente, o consumo de energia. Entretanto, estes custos podem ser reduzidos de forma significativa se for realizado um estudo visando o controle das propriedades envolvidas no processo (LEITE, et al. 2005).

O interesse da indústria em obter produtos mais homogêneos e com menor percentual de impurezas destaca a importância das propriedades aerodinâmicas nos grãos. A velocidade terminal é uma das características mais importantes para o projeto e operação de máquinas e equipamentos, sendo poucas as informações disponíveis sobre essa característica em grãos de milho (SILVA et al, 2003).

Outro fator a ser considerado é o vigor das sementes, reflexo de um conjunto de características que determinam o potencial fisiológico, ou seja, a capacidade de apresentar desempenho adequado quando expostas a condições diferentes de ambiente no campo. A condutividade elétrica tem sido proposta como um método de avaliação do vigor que relaciona a quantidade de lixiviados na solução de embebição das sementes à integridade das membranas celulares (RIBEIRO et al, 2009).



Nesse sentido, o trabalho teve como objetivo avaliar a influência da secagem, em diferentes temperaturas, nas propriedades aerodinâmicas e fisiológicas do milho pipoca.

Material e Métodos

Este trabalho foi executado na Universidade Estadual de Goiás, Câmpus Santa Helena de Goiás e as análises das propriedades aerodinâmicas e fisiológicas realizadas no Laboratório de Pós Colheita de Produtos Vegetais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IF Goiano - Campus Rio Verde), situado no município de Rio Verde, GO.

Os grãos de variedade indeterminada foram cultivados na Fazenda Santa Cecília no Município de Santa Helena de Goiás, colhidos e debulhados manualmente, após homogeneização da amostra, submetido à determinação do teor de água utilizando a estufa a $105 \pm 1^\circ\text{C}$, durante 24 horas, em três repetições conforme metodologia prescrita nas Regras para Análises de Sementes - RAS (BRASIL, 2009). Obteve-se o teor de água de 27% b.u. para a amostra.

Posteriormente foi realizada a secagem em estufa com três temperaturas (40, 60 e 40/60°C) para cinco teores de água (27, 23.5, 20, 16.5 e 13 % b.u.) com três repetições, fatorial 3x5x3, totalizando 45 parcelas.

As avaliações foram realizadas após a secagem e os parâmetros avaliados foram velocidade terminal (m s^{-1}) e condutividade elétrica ($\mu\text{Scm}^{-1} \text{g}^{-1}$).

Para velocidade terminal foi usado um aparelho Determinador de Velocidade Terminal, composto por um ventilador centrífugo, conectado a um tubo de acrílico transparente, em três repetições para cada teor de água nas diferentes temperaturas (SILVA et al, 2003). Foram coletados 5 fluxos em posições estratégicas para cada uma das repetições. Para isso, foi pesado e espalhado na parte central da tela perfurada 10,0 gramas de amostra. Regulava-se o fluxo de ar até o início do processo de flutuação do produto e então posicionava-se um anemômetro na parte central da saída de ar do tubo para realizar as leituras da velocidade do ar.

A condutividade elétrica dos grãos foi determinada com três repetições de 50 grãos de cada amostra, as quais foram pesadas em uma balança com precisão de 0,001g e imersas em 75 mL de água destilada, no interior de copos plásticos de 200 mL de capacidade, esses recipientes foram levados à BOD com ventilação forçada regulada para 25 °C, por vinte e quatro horas, procedendo-se à leitura da condutividade elétrica da água de embebição em aparelho BEL W12D (VIEIRA, et al. 1994).

O cálculo para obtenção dos valores da condutividade elétrica ($\mu\text{Scm}^{-1} \text{g}^{-1}$) procedeu-se pela seguinte equação:

$$CE = \frac{\text{Leitura} \left(\frac{\mu\text{S}}{\text{cm}} \right)}{\text{Peso} \text{ (g)}}$$

CE = Condutividade elétrica
Leitura = leitura feita pelo
condutivímetro
Peso = peso da massa de
grãos umedecidos

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado e os dados submetidos à análise de homogeneidade no software R 3.0.2 e analisados utilizando o programa Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2011).

Resultados e Discussão

Observa-se na análise de variância que houve significância para a interação (Temperatura*Ta) em ambas as análises, velocidade terminal e condutividade elétrica, para o nível de 1 % de probabilidade (Tab. 1).

Tabela 1- Análise de variância para velocidade terminal e condutividade elétrica para as variáveis Temperatura (Temp), teor de água (Ta) e interação. Santa Helena de Goiás – GO, UEG 2018.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio	
		Velocidade Terminal (m s^{-1})	Cond. Elétrica ($\mu\text{Scm}^{-1} \text{g}^{-1}$)
Temp	2	35,266402*	6,478469*
Ta	4	21,925192*	15,909841*
Temp*Ta	8	5,819302*	0,728599*
Erro	30	1,020129	0,080440
Total Corrigido	44		
CV(%)		27.55	5,73
Média Geral		3.6662222	4,9502222

* Significativo a 1% de probabilidade.

Para a temperatura de 40/60°C ocorreram as menores médias de velocidade terminal em todos os teores de água ($p < 0,01$), seguido da temperatura de 40°C, exceto para o teor de água de 20% b.u. Para a temperatura de 40/60°C entre os teores de água não houve diferença entre as médias, enquanto que para as outras temperaturas (40°C e 60°C) houve um aumento nas médias de velocidade terminal de acordo com a redução do teor de água (Tab. 2).

Tabela 2. Efeito da temperatura de secagem e umidade sobre a média da velocidade terminal ($m s^{-1}$) em grãos de milho pipoca. Santa Helena de Goiás – GO, UEG 2018.

Temperatura	Teor de Água(% b.u.)				
	27	23.5	20	16.5	13
40°C	1,26 Aa	2,56 Aa	6,54 Bb	5,09 Bb	5,57 Bb
60°C	1,58 Aa	4,84 Bb	4,02 Ab	6,13 Bbc	7,70 Cc
40/60°C	1,22 Aa	2,00 Aab	3,39 Ab	1,12 Aab	2,32 Aab

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 1% de probabilidade.

O aumento da velocidade terminal experimental em função da redução do teor de água é observado na (Fig. 1), que apresenta os parâmetros estatísticos e a equação ajustada da velocidade terminal experimental, nos diversos teores de água. Essa tendência difere de resultados encontrados para grãos de quinoa, observados por Nunes (2009); grãos de feijão, observados por Isik e Unal, (2011); Shirkole et al. (2011) com soja; Yilmaz et al. (2012) com gergelim, onde para esses experimentos há o aumento da velocidade terminal experimental em função do aumento do teor de água.

A velocidade terminal é influenciada pela forma do produto, teor de água, tamanho, orientação, viscosidade do meio, e pelas massas específicas da partícula e do fluido (TRETO, 2012). Segundo Pacheco et al. (1996) o milho-pipoca, devido ao tamanho reduzido e à dureza de suas sementes, apresenta características muito peculiares, o que pode explicar sua diferenciação para a velocidade terminal obtida nesse trabalho. Além disso, com a redução do teor de água, há menor a área de contato do ar com os grãos, o que também contribui para o aumento das médias com a redução do teor de água. De acordo com Nunes (2009), provavelmente o

aumento do teor de água altera as características físicas do produto, principalmente a massa e o volume.

Para a temperatura de 40/60°C não se ajusta nenhum modelo de regressão com valores aceitáveis devido a troca subta da temperatura durante o processo de secagem, isso pode ser visualizado no gráfico pelos valores de R^2 obtidos para essa temperatura.

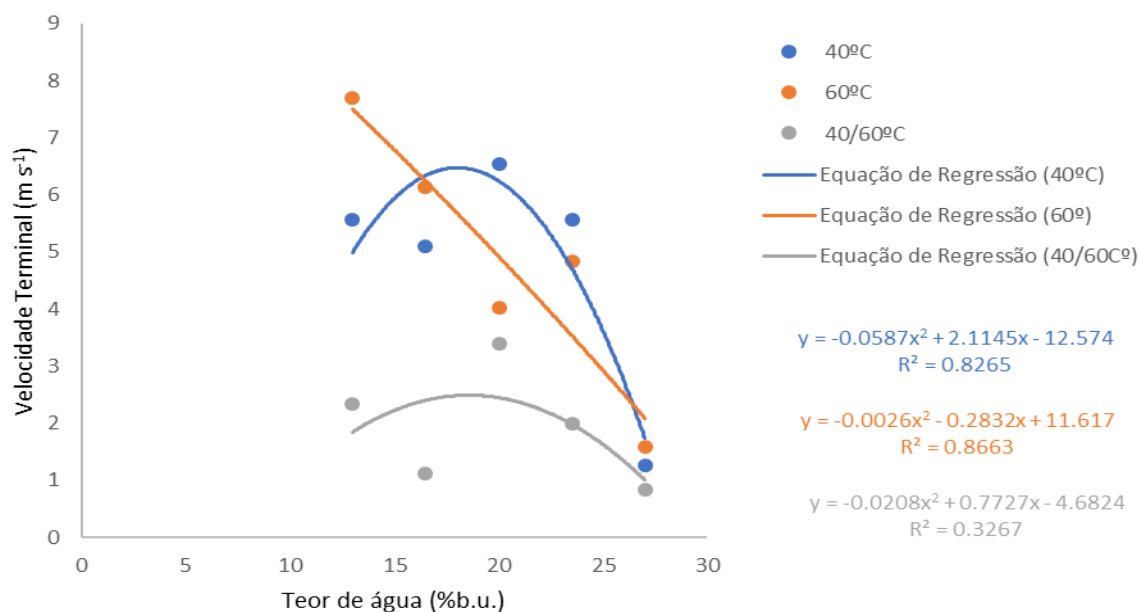


Figura 1: Gráfico de valores de Velocidade Terminal em função do teor de água dos grãos de milho pipoca. Santa Helena de Goiás – GO, UEG 2018.

Para Condutividade Elétrica as temperaturas de secagem de 40°C e 40/60°C não diferiram em relação aos teores de água ($p < 0,01$), diferiram apenas em relação a temperatura de 60°C. Para cada temperatura houve diferença entre os teores de água, havendo um aumento das médias de condutividade elétrica com a redução do teor de água (Tab. 2).

Foi possível observar que a temperatura de 60°C obteve para todos os teores de água as maiores médias de condutividade elétrica, o que indica que as temperaturas de 40°C e 40/60°C tiveram pouca influencia em relação a temperatura de 60°C na quantidade de lixiviados da solução.

Tabela 2. Efeito da temperatura de secagem e umidade sobre a média da condutividade elétrica ($\mu\text{Scm}^{-1} \text{g}^{-1}$) em grãos de milho pipoca. Santa Helena de Goiás – GO, UEG 2018.

Temperatura	Teor de Água (% b.u)				
	27	23.5	20	16.5	13
40°C	2.94 Aa	3.32 Aa	4.72 Aab	5.63 Ac	6.33 Ad
60°C	3.19 Aa	5.40 Bb	6.46 Bc	6.52 Bc	6.96 Bc
40/60°C	3.34 Aa	3.40 Aa	4.58 Ab	5.60 Ac	5.81 Ac

*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 1% de probabilidade.

Há o aumento da Condutividade Elétrica com a redução do Teor de água para todas as temperaturas, é possível observar também que as maiores médias foram obtidas para a temperatura de 60°C enquanto que as temperaturas de 40° e 40/60°C tiveram conportamento semelhante (Fig 2).

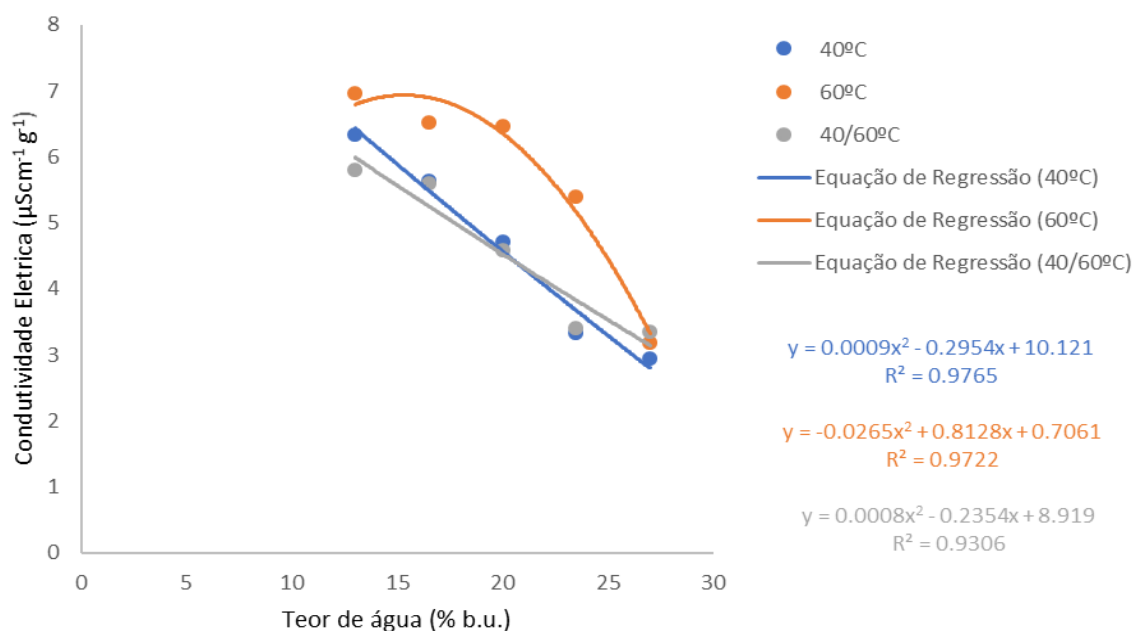


Figura 2: Gráfico de valores de Condutividade Elétrica em função do teor de água dos grãos de milho pipoca. Santa Helena de Goiás – GO, UEG 2018.

A água é essencial para a integridade de estruturas intracelulares, portanto o metabolismo desequilibrado e os danos provocados devido à desidratação são as



principais causas da perda de viabilidade das sementes durante a secagem (BERJAK; PAMMENTER, 2003), assim, os resultados obtidos podem ser devido à perda de água durante a fase de desidratação, pois a própria perda de volume das sementes pode ter resultado em danos mecânicos estruturais.

Devido o fato de a água afetar as condições da célula de muitas maneiras, os tecidos que sobrevivem à sua remoção têm uma combinação de estratégias para limitar os danos resultantes da desidratação (Walters et al., 2001). A secagem a baixa temperatura (40°C) ou com início a baixa e aumento posterior (40/60°C) pode ser uma estratégia para não impactar as células durante desidratação. Isso pode reduzir o tempo de secagem para a temperatura 40/60°C, devido ao aumento da temperatura no término da secagem, com a mesma intensidade de dano da secagem a baixa temperatura.

Portanto, a temperatura de 60°C seria menos indicada para a secagem de milho pipoca que as demais temperaturas, devido às médias de condutividade elétrica indicarem maiores danos fisiológicos às células dos grãos de milho de pipoca.

Considerações Finais

De acordo com os resultados obtidos e nas condições em que foi desenvolvido este trabalho, pode-se concluir que:

- O valor da velocidade terminal aumenta com a redução do teor de água dos grãos de milho de pipoca para todas as temperaturas;
- A temperatura de 60°C promove maiores danos às membranas celulares do grãos de milho de pipoca do que as temperaturas de secagem de 40°C e 40/60°C.



Agradecimentos

Os autores agradecem à Fazenda Santa Cecília pela doação dos grãos de milho pipoca para o experimento e ao Instituto Federal Goiano Campus Rio Verde de Goiás pela concessão do laboratório para as análises.

Referências

BARBOSA, Natália et al. Compostos bioativos nos grãos de milho pipoca antes e após o processamento. disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1054422/1/Compostosbioativos.df>> acesso em: 13 de julho de 2018.

BERJAK, P.; PAMMENTER, N.W. Chapter 4: Orthodox and recalcitrant seeds. In: VOZZO, J.A. Tropical tree seed manual. Washington: USDA Forest Science, 2003. p.137-147.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes, Brasília: Mapa/ACS, p. 399. 2009.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v.35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FREIRE, Ana Izabella. Avaliação da capacidade de expansão de milho-pipoca pelas técnicas de espectrometria no infravermelho próximo, composição química e microscopia eletrônica. Dissertação (mestrado acadêmico) – Universidade Federal de Lavras, 2015.

ISIK, E.; UNAL, H. Some engineering properties of white kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 82, p. 19126-19136, 2011.

KROKIDA, M.K.; KARATHANOS, V.T.; MAROULIS, Z.B.; MARINOS-KOURIS, D. Drying kinetics of some vegetables. National Technical University of Athens, Zografou Campus, 15780 Athens, Greece. **Journal of Food Engineering** 59, p.391-403, 2003.

LEITE, José Cleidimário Araújo et al. Simulação de secagem de milho (*Zea mays* L.) utilizando o modelo matemático de Thompsom. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 5, n. 2, 2005.

NUNES, D.M.C. Propriedades físicas, térmicas e aerodinâmicas de grãos de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) 68 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2009.

PACHECO, C.A.P.; CASTOLDI, F.L.; ALVERENGA, E.M. Efeito do dano mecânico na qualidade fisiológica e na capacidade de expansão de sementes de milho-pipoca. **Revista Brasileira de Sementes**, Campinas, v.18, n.2, p.267-270, 1996.

REALIZAÇÃO





PATERNIANI, E.; CAMPOS, M.S. 2005. Melhoramento do Milho. In: BORÉM, A. (Ed.). Melhoramento de Espécies Cultivadas. 2 ed. Viçosa: UFV. p. 491-552

POPCORN. Disponível em: <<http://www.popcorn.org/Home/tabid/36/Default>.

RIBEIRO, Deise Menezes et al. Teste de condutividade elétrica para avaliar o vigor de sementes em milho-pipoca (*Zea mays* L.). **Revista Ceres**, Viçosa v. 56, n. 6, 2009.

SHIRKOLE, S. S.; KENGHE, R. N.; NIMKAR, P. M. Moisture Dependent Physical Properties of Soybean. **International Journal of Engineering Science and Technology**, v.3, n.5, 2011.

SILVA, Fabrício et al. Influência do teor de umidade na velocidade terminal de grãos de sorgo e milheto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.2, n.3, p.143-147, 2003.

TRETO, P. C. Propriedades físicas, aerodinâmicas e térmicas de frutos de café conilon (*coffea canephora*). Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, Engenharia Agrícola. Tese de Doutorado, 112p. 2012.

VIEIRA, R.D; CARVALHO, N.M. Teste de vigor em sementes. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p. 103-32.

WALTERS, C.; PAMMENTER, N.W.; BERJAK, P.; CRANE, J. Desiccation damage, accelerated ageing and respiration in desiccation tolerant and sensitive seeds. *Seed Science Research*, Wallingford, v.11, n.2, p.135-148, 2001.

YILMAZ, D.; AKINCI, I.; CAGIRGAN, M. I. Selected properties of sesame as a function of varieties and moisture contents. **International Journal of Food Properties**, v.15, p. 81–88, 2012.