

PROPRIEDADES FÍSICAS, TÉRMICAS E AERODINÂMICAS DE GRÃOS DE MAMONA

Hiago Felipe Lopes de Farias¹ (PG)*; Fernando Ribeiro Teles de Camargo (PG); Isneider Luiz Silva (PG); Raquel Cintra de Faria (PG); Verônica Soares Machado (PG); Ivano Alessandro Devilla (PQ)

*hiagoffl@hotmail.com

¹Campus de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual de Goiás – UEG, Anápolis – GO

Resumo:

A mamoneira (*Ricinus communis* L.) é uma oleaginosa de relevante importância econômica e social. A determinação das propriedades físicas, térmicas e aerodinâmicas é de total importância na otimização dos processos industriais, estudos de aerodinâmica, projeto e dimensionamento de equipamentos utilizados nas operações de colheita e pós-colheita, tendo em vista o aumento da qualidade do produto final. Objetivou-se com esse trabalho a caracterização das propriedades físicas, térmicas e aerodinâmicas de grãos de mamona. Foram utilizados grãos de mamona, cultivar Tamar. O tamanho e a forma dos grãos de mamona, foram considerados como esferoides triaxiais, as propriedades físicas determinadas, foram: massa específica aparente, porosidade intragranular, massa específica real e ângulo de repouso, as propriedades térmicas foram obtidas através do aparelho KD2 Pro – Decagon, sendo feitas leituras das seguintes variáveis: condutividade térmica (K); calor específico (Cp); Resistividade (δ) e da difusividade térmica (α), e as propriedades aerodinâmicas foram obtidas mediante a determinação da velocidade terminal experimental, a qual foi avaliada por meio de um equipamento de coluna de ar. As propriedades físicas, térmicas e aerodinâmicas dos grãos de mamona à aproximadamente 8% de teor de água, estão próximas a encontradas por outros autores na literatura.

Palavras-chave: *Ricinus communis* L. Oleaginosa. Esferoide triaxial.

Introdução

A mamoneira (*Ricinus communis* L.) é uma oleaginosa de relevante importância econômica e social (KOURI, et al.2006). A produção de mamona pode ser realizada em quase todo o país, excluindo-se alguns ecossistemas específicos como o Pantanal, a Amazônia e locais muito frios. Sua grande vantagem competitiva, no entanto, está no semiárido da região nordeste, onde a resistência à seca, custo de produção baixo e a facilidade no manejo constituem uma das poucas opções agrícolas para a geração de renda no âmbito da agricultura familiar (AZEVEDO e BELTRÃO, 2007).

O beneficiamento dos frutos é um dos principais fatores limitantes tanto em relação à qualidade do óleo extraído, quanto ao crescimento da cultura, sendo uma etapa muito importante para a definição da qualidade do grão (GONELI, 2008). O

óleo da mamona possui inúmeras aplicações na área industrial, com perspectiva de utilização como fonte energética na produção de biocombustível (SEVERINO et al., 2005).

A determinação das propriedades físicas, térmicas e aerodinâmicas é de total importância na otimização dos processos industriais, estudos de aerodinâmica, projeto e dimensionamento de equipamentos utilizados nas operações de colheita e pós-colheita, tendo em vista o aumento da qualidade do produto final (RESENDE et al., 2008).

O conhecimento das propriedades físicas e mecânicas dos produtos agrícolas é de fundamental importância para uma correta conservação e para o projeto de dimensionamento, construção e desempenho de equipamentos utilizados nas operações após a colheita. Informações referentes a tamanho, porosidade e a massa específica, dentre outras características físicas dos produtos agrícolas, são consideradas de grande importância para estudos envolvendo transferência de calor e massa e movimentação de ar em massas granulares (FIRMINO et al., 2010; SILVA NETO, 2013).

O conhecimento das propriedades térmicas é importante para simular o comportamento dos grãos e a quantidade de energia requerida quando submetidos a diferentes condições de secagem, aquecimento ou resfriamento para adequar e otimizar os processos de pré-processamento e armazenamento dos grãos (ITO, 2003). As propriedades térmicas mais relevantes, são condutividade térmica, difusividade térmica e calor específico do produto (ROSSI e ROA, 1980).

A determinação dos parâmetros aerodinâmicos dos produtos agrícolas é de suma importância no desenvolvimento de máquinas operatrizes de seleção de grãos e sementes. Dentre os parâmetros aerodinâmicos, a velocidade terminal é o princípio mais utilizado nesse dimensionamento. De acordo com TEIXEIRA et al. (2003) com os valores de velocidade terminal pode-se ajustar a rotação do ventilador das máquinas de limpeza até obter uma velocidade do ar, na coluna pneumática de forma a garantir máxima eficiência de separação.

Diante do exposto, objetivou-se com esse trabalho a caracterização das propriedades físicas, térmicas e aerodinâmicas de grãos de mamona.

Material e Métodos

O presente trabalho foi realizado no laboratório de Secagem e Armazenamento de Produtos Vegetais do Campus de Ciências e Exatas e Tecnológicas – Henrique Santillo, da Universidade Estadual de Goiás, na cidade de Anápolis – Goiás.

Foram utilizados grãos de mamona (*Ricinus communis* L.), cultivar Tamar estes foram produzidos no Instituto Mato-grossense do Algodão (IMA), localizado em Primavera do Leste – MT.

PROPRIEDADES FÍSICAS

O tamanho e a forma dos grãos de mamona, considerados esferoides triaxiais, foram analisados quanto ao comprimento, largura, espessura, (Figura 1), sendo feita três repetições, e em cada repetição analisados 15 grãos, com o auxílio de um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm. As dimensões características foram determinadas, considerando a carúncula (Figura 2).

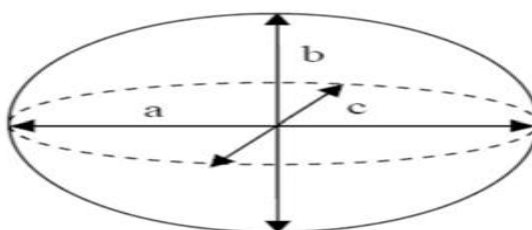
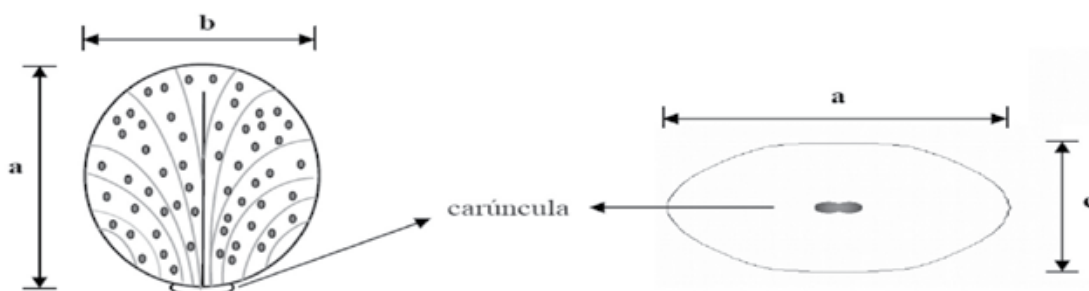


Figura 1: Desenho esquemático do fruto de mamona, considerado como esferoide tri-axial, com suas dimensões características.

Em que:

- a: comprimento ou maior eixo, mm;
- b: largura ou eixo médio, mm; e
- c: espessura ou menor eixo, mm.



Fonte: GONELI (2008).

Figura 2: Desenho esquemático das dimensões de um grão de mamona, considerado como um esferoide tri-axial.

Após a determinação das medidas dos eixos ortogonais, a esfericidade foi estimada conforme a Equação 1 de Mohsenin (1986).

$$S = \frac{(a.b.c)^{\frac{1}{3}}}{a} .100 \quad (1)$$

Em que:

S = esfericidade, %;

a = medida do maior eixo do grão, m;

b = medida do eixo normal ao eixo a, m;

c = medida do eixo normal aos eixos a e b, m.

A circularidade dos grãos de mamona foi estimada pela Equação 2, considerando a posição de repouso natural dos grãos (Mohsenin, 1986).

$$C = \frac{d_i}{d_c} .100 \quad (2)$$

Em que:

C = circularidade, %

d_i = diâmetro do maior círculo inscrito (eixo b), m;

d_c = diâmetro do menor círculo circunscrito (eixo a), m.

A determinação da massa específica aparente (pap), expressa em kg m⁻³, foi realizada utilizando-se uma balança de peso hectolitro, com capacidade de 1/4 litros, em cinco repetições.

A porosidade intragranular (ε) foi determinada colocando-se os grãos de mamona até atingiram um limite de 100 mL em um Becker. Adicionou-se óleo de soja em uma bureta de 50 ml, em seguida o óleo foi colocado no Becker onde estavam os grãos de mamona até que essas eram totalmente cobertas pelo óleo. O volume de óleo utilizado para preencher os espaços vazios de cada amostra foi anotado e substituído na Equação 3, para determinação da porosidade dos grãos (MOHSENIN, 1986).

$$\varepsilon = \frac{V_{\text{óleo}}}{V_{\text{grãos}}} .100 \quad (3)$$

Em que:

ε = porosidade, %;

V_{óleo} = volume de óleo de soja utilizado para preencher os espaços vazios dos grãos;

V_{grãos} = volume de grãos colocados no Becker.

A massa específica real ou unitária (p_u), expressa em kg m^{-3} , foi obtida em função da porosidade (ϵ) e da massa específica aparente (p_a) de acordo com a Equação 4, descrita por Mohsenin (1986).

$$p_u = \frac{p_a}{(1 - \epsilon)} \quad (4)$$

Em que:

p_a : massa específica aparente, kg m^{-3} ;

p_u : massa específica unitária, kg m^{-3} ;

ϵ : porosidade intragranular, em decimal.

Para a determinação do ângulo de repouso dos grãos de mamona foi utilizado um protótipo constituído de uma caixa retangular construída em vidro e madeira, simulando uma moega. A massa de grãos foi depositada na parte superior do equipamento, uma caixa de madeira removível e com trava, com altura fixa, que visa manter a altura de descarga semelhante em todas as repetições e um fluxo constante. A leitura do ângulo foi feita através da transparência com escala de ângulos, afixada na parte frontal, constituída de vidro, do equipamento. Os testes foram realizados com quatro repetições.

PROPRIEDADES TÉRMICAS

Na determinação das propriedades térmicas, os grãos de mamona foram inicialmente retirados do freezer, onde estavam armazenados, e com teor de água de aproximadamente 8%. As propriedades térmicas foram obtidas através do aparelho KD2 Pro – Decagon, utilizando a sonda SH1. As amostras antes de serem levadas ao aparelho foram homogeneizadas e colocadas em um béquer, em seguida inseriu-se a sonda, composta de duas agulhas e realizou-se a leitura das seguintes variáveis: condutividade térmica (K); calor específico (C_p); Resistividade (δ) e da difusividade térmica (α). Foram feitas quatro repetições.

PROPRIEDADES AERODINÂMICAS

As propriedades aerodinâmicas foram obtidas mediante a determinação da velocidade terminal experimental, a qual foi avaliada por meio de um equipamento de coluna de ar. Esse dispositivo é composto por um ventilador centrífugo conectado a um tubo de acrílico transparente, com diâmetro de 0,15 m e 2 m de comprimento.

Uma tela perfurada foi instalada a 1 m da parte superior, onde as amostras foram colocadas. Já a 1,75 m foi acoplado um reticulador, para uniformizar a distribuição da velocidade do ar na seção transversal do tubo. O ventilador foi acionado por um motor trifásico de 0,735 kW e o controle do fluxo de ar foi efetuado por meio de um inversor de frequência.

A velocidade terminal experimental foi determinada em três repetições. Na parte central da tela perfurada foram colocadas as amostras de grãos de forma que a tela ficasse com uma camada única e uniforme, logo após, o equipamento foi regulado até o fluxo de ar iniciar o processo de flutuação do produto. As leituras da velocidade do ar foram realizadas por meio de um termo anemômetro de pás digital, disposto na parte superior e central do cilindro de acrílico.

Resultados e Discussão

A tabela 1 apresenta os dados obtidos para as propriedades físicas dos grãos de mamona, no que se refere aos eixos (A, B, C), diâmetro, circularidade, esfericidade e ângulo de repouso.

Tabela 1: Valores médios dos eixos ortogonais (a, b e c), diâmetro equivalente, circularidade, esfericidade e ângulo de repouso dos grãos de mamona.

Eixos (mm)			Diâmetro	Circularidade	Esfericidade	Ângulo de
A	B	C	Equivalente	%	%	Repouso °
13,20	8,85	6,35	9,05	67,14	68,64	20,5

Ao analisar os eixos ortogonais dos grãos de mamona, podemos inferir que os mesmos podem ser classificados como alongados, devido a sua forma e comprimento (GONELI, 2008). Os valores obtidos para a circularidade e esfericidade de grãos de mamona foram de 67,14% e 68,64%, respectivamente. Ainda, segundo Goneli (2008) que determinou as propriedades físicas dos grãos de mamona, com diferentes teores de água, foi observado que os valores para circularidade que variava de 62,13 e 63,07%, enquanto Santos (2014) encontrou valores entre 63,36 e 64,06% para sementes de feijão carioca, dados esses que estão próximos ao encontrado neste trabalho.

O ângulo de repouso encontrado para os grãos de mamona variaram entre 18 e 20° em todas as repetições feitas. Valores semelhantes foram encontrados por Nunes et al (2014), onde estavam determinando as propriedades físicas dos grãos de diferentes cultivares de trigo, assim para o ângulo de repouso foram encontrados

valores entre 17 e 21°. Com sementes de pinhão manso Ormond et al (2014) encontrou valores mais altos de ângulos de repouso, variando entre 25 e 26°. O ângulo de repouso tem grande importância no momento de armazenamento de sementes, segundo Pohndorf et al. (2011), quanto menor o ângulo de repouso maior será o volume de grãos que poderão ser armazenados em um silo, com acomodação natural do produto.

A porosidade encontrada para os grãos de mamona foram de 42.5%, dados que diferem de Nunes et al (2014) para sementes de trigo que foram de 22.22%, esses valores diferentes podem ser explicados pelo fato de sementes de trigo terem formato diferente dos grãos de mamona, assim podem ocupar maiores espaços vazios dentro de um recipiente, diminuindo a porosidade entre sementes. Já em grãos de pinhão manso foram encontradas porosidades entre 40 a 49% (ORMOND et al, 2014). De acordo com Siqueira, et al (2012), porosidade é a relação entre o volume ocupado pelo ar intergranular de determinado produto e o volume total ocupado por essa massa granular. O teor de água dos produtos agrícolas é um importante fator que determina a variação da porosidade dos grãos, pois grãos com maiores teores de água apresentam uma tensão superficial maior que grãos mais secos.

Na tabela 2 são apresentados os valores encontrados para as propriedades térmicas dos grãos de mamona.

Tabela 2: Valores da condutividade térmica, calor específico, difusividade térmica e resistividade de mamona.

Condutividade Térmica (W m ⁻¹ C° ⁻¹)	Calor Específico (MJ m ⁻³ K ⁻¹)	Difusividade Térmica (mm ² s ⁻¹)	Resistividade (C° cm W ⁻¹)
0.2092	1.2822	0.1580	510.9

Quanto aos valores referentes as propriedades térmicas encontrados para os grãos de mamona, eles se diferiram dos encontrados por Santos (2014), em sementes de feijão carioca em diferentes teores de água, onde foram encontrados valores entre 0.218 e 0.269 para condutividade térmica, valores que são superiores ao da mamona, 0.209, para o calor específico no feijão entre 1.73 e 1.97 e para os grãos de mamona 1.28, e a difusividade do feijão carioca ficou entre 0.12 e 0.15, e nos grãos de mamona o valor foi superior, 0.158. A diferença nos valores se deve ao fato de serem dois materiais diferentes quanto em sua forma quanto em suas composições químicas.

Os valores de massa específica aparente e unitária, porosidade e massa de mil grãos estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3: Valores médios da massa específica aparente, massa específica unitária, porosidade e massa de mil grãos dos grãos de mamona.

Massa Específica Aparente (kg.m ⁻³)	Massa Específica Unitária (kg.m ⁻³)	Porosidade (%)	Massa de Mil Grãos (10 ⁻³ kg)
475,06	826,20	42,50	34,06

Os grãos de mamona apresentam seus valores de propriedades físicas muitos próximos de outros produtos agrícolas, a porosidade entre os grãos de mamona está em um parâmetro dado como aceitável, a massa específica aparente e massa específica unitária foi muito semelhante ao encontrado por Goneli (2008) ao trabalhar com sementes de mamona também (GONELI, 2008; SANTOS, 2014; NUNES, 2014).

Considerações Finais

As propriedades físicas, térmicas e aerodinâmicas dos grãos de mamona à aproximadamente 8% de teor de água, estão próximas a determinadas por outros autores na literatura.

Referências

AFONSO JÚNIOR, P.C.; CORRÊA, P.C.; ANDRADE, E.T. Análise da variação das propriedades físicas e contração volumétrica dos grãos de milho durante a dessecção. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 25, n. 1, p. 15-21, 2000.

AZEVEDO, D.M.P.; BELTRÃO, N.E. **O Agronegócio da mamona no Brasil**. 2 ed. Brasília, Embrapa informação tecnológica. 2007. 504p.

FIRMINO, P. T.; WANDERLEY JÚNIOR, J. S. A.; SILVA, A. C.; SANTOS, D. C.; SANTOS, F. N. Determinação das propriedades físicas de sementes de pinhão manso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 4 & SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 1, 2010, João Pessoa. Inclusão Social e Energia: **Anais...** Campina grande: Embrapa Algodão, p. 2025-2030. 2013.

GONELI, A. L. D. **Variação das Propriedades Físico-Mecânicas e da Qualidade da Mamona (*Ricinus Communis* L.) Durante a Secagem e o Armazenamento**. 2008. 199p. Tese (Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

ITO, A.P. Determinação de condutividade e difusividade térmica de grãos de soja. Campinas, SP, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. **Dissertação de Mestrado**, 115p. 2003.

KOURI, J.; SANTOS, R. F. dos; BARROS, M. A. L. Importância econômica. In: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Sistema de produção. 2. ed. 2006.

MOHSENIN, N. N. Thermal properties of foods and agricultural materials. London, **Gordon & Breach science Publishers**, p.407, 1980.

NUNES, J.A.S, ORMOND, A.T. CANEPPELE, C. SILVA, S.L.S. JOB, M.T. Determinação do ângulo de repouso, volume unitário, eixos ortogonais e esfericidade de trigo. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.3, n.2, p. 77-86, 2014.

ORMOND, A.T.S. NUNES, J.A.S. CANEPPELE. C. BRANDÃO, F.J.B. BARBOSA, F.T. Características físicas de sementes de pinhão-mansão em função do teor de água. **Cerrado agrociências**. Patos de Minas, UNIPAM, nov. 2014.

POHNDORF, R. S.; KLEIN, B.; NASCIMENTO, B. C.; RUTZ, D.; FOGUESATTO, R. J.; ELIAS, M. C. Influência da umidade e do percentual de grãos quebrados e inteiros no ângulo de repouso de soja. Pelotas. RS, 2011. In: ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO -UFPEL, 13, 2011, Pelotas, RS. **Anais...** Pelotas: UFPel, 4p.

RESENDE, O.; CORRÊA, P.C.; GONELI, A.L.D.; RIBEIRO, D.M. Propriedades físicas do feijão durante a secagem: determinação e modelagem. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, n.1, p.225-230, 2008.

ROSSI, S. J.; ROA, G. **Secagem e armazenamento de produtos agropecuários com o uso de energia solar e ar natural**. São Paulo: Academia de Ciência de Estado de São Paulo, 1980. 295 p.

SANTOS, M. M. **Determinação das propriedades físicas, térmicas e aerodinâmicas do feijão carioca, cultivar estilo, em diferentes teores de água**. Trabalho de Conclusão de curso. Universidade Estadual de Goiás, 2014.

SEVERINO, L.S.; MORAES, C.R.A.; FERREIRA, G.B.; CARDOSO, G.D.; GONDIM, T.M.S.; BELTRÃO, N.E.M.; VIRIATO, J.R. **Crescimento e produtividade da mamoneira sob fertilização química em região semi-árida**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. 20p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 62).

SILVA, J.S.; LUCENA, E.M.P. Estrutura, composição e propriedades das sementes. In: SILVA, J.S. (Ed.). Pré-processamento de produtos agrícolas. Juiz de Fora, MG: Instituto Maria, 1995. p. 23-32.

SILVA NETO, I. T. **Estado da arte de silos verticais de madeira**. 154f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá. 2013.

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Propriedades físicas dos frutos de pinhão-mansão durante a secagem. **Global Science and Technology**, v. 05, n.01, p. 83-92, 2012.

SRIVASTAVA, K.A.; GOERING, E.C.; ROHRBACH, P.R. Engineering principles of agricultural machines. St. Joseph, Michigan: ASAE, 1993. 601p.

TEIXEIRA, M. M.; MARTYN, P. J.; HARA, T.; CUNHA, J. P. A. R. Propriedades físicas e aerodinâmicas aplicadas ao projeto de máquinas de limpeza para grãos de milho. **Engenharia na Agricultura**, v.11, n. 52, p. 1-4, 2003.