

# Propriedades físicas dos grãos de soja, cotilédones e impurezas

## Physical properties of soybean grains, cotyledons and impurities

Maria Aparecida da Silva Lopes, Osvaldo Resende, Jaqueline Ferreira Vieira Bessa, Rayr Rodrigues Lima e Wellytton Darci Quequeto\*

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, Goiás, Brazil  
(\*E-mail: wellytton.quequeto@hotmail.com)

<https://doi.org/10.19084/rca.18030>  
Recebido/received: 2019.06.06  
Aceite/accepted: 2019.07.29

### RESUMO

Devido à diversidade das características dos produtos agrícolas e a possível presença de defeitos e impurezas numa determinada quantidade expressiva de grãos, torna-se fundamental conhecer as propriedades físicas destes materiais, com finalidade de auxiliar no dimensionamento e projetos de equipamentos destinados a pós-colheita. Assim, objetivou-se determinar as propriedades físicas para diferentes proporções de grãos de soja, cotilédones e impurezas. O teor de água dos materiais foi determinado em estufa de circulação de ar forçado. Foram determinadas as propriedades físicas: massa específica aparente e unitária, ângulo de repouso, porosidade intergranular e velocidade terminal. As propriedades físicas dos grãos de soja variam quando inseridas diferentes proporções de cotilédones e impurezas. O ângulo de repouso aumenta com a maior quantidade de impurezas finas e a porosidade intergranular aumenta com a presença de impurezas grossas; a massa específica aparente é maior para grãos inteiros, enquanto ocorre incremento da massa específica unitária para as impurezas grossas. Os grãos, cotilédones, vagens e impurezas apresentam variações na velocidade terminal, sendo influenciadas pelo teor de água, forma e tamanho das partículas.

**Palavras-chave:** *Glycine max*, cotilédones, vagens, pós-colheita.

### ABSTRACT

Due to the diversity of the characteristics of the agricultural products and the possible presence of defects and impurities in a certain expressive quantity of grains, it is fundamental to know the physical properties of these materials, in order to assist in the design and design of equipment destined to post-harvest. Thus, the objective was to determine the physical properties for different proportions of soybean grains, cotyledons and impurities. The moisture content of the materials was determined in a forced air circulation oven. The physical properties were determined: bulk and true density, angle of repose, intergranular porosity and terminal velocity. The physical properties of soybeans vary when different proportions of cotyledons and impurities are inserted. The angle of repose increases with the greater amount of fine impurities and the intergranular porosity increases with the presence of coarse impurities; the bulk density is higher for whole grains, while increasing the true density for the coarse impurities. The grains, cotyledons, pods and impurities present variations in terminal velocity, being influenced by the moisture content, shape and size of the particles.

**Keywords:** *Glycine max*, cotyledons, pods, post-harvest.

## INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L.) é uma planta originária da China, expandindo-se para outras partes da Ásia por volta do século XI a.C., posteriormente, foi disseminada para a América do Norte, Europa e América do Sul (Priolli *et al.*, 2004). É uma leguminosa importante que contém cerca de 40% de proteína, 34% de carboidratos e 21% de óleo (Menegassi *et al.*, 2018). Apresenta expressão na economia externa e interna do Brasil, não apenas pelo seu valor como grão para consumo, mas também pela possibilidade de utilização devido aos seus altos teores de óleo e proteína e, do mesmo modo, à boa valorização comercial de seus resíduos (Ribeiro *et al.*, 2005; Dobhal e Raghuvanshi, 2018).

Diante do potencial econômico dessa cultura, diversos trabalhos foram realizados até ao momento, sendo eles sobre a produtividade (Grassini *et al.*, 2015; Trentin *et al.*, 2018), adaptação (Lu *et al.*, 2017; Hamawaki *et al.*, 2019), cultivo (Phélinas e Choumert, 2017) e rendimento e qualidade do óleo (Anwar *et al.*, 2016; Koubaa *et al.*, 2016). No entanto, ainda são limitadas as informações referentes às propriedades físicas dessa espécie juntamente com impurezas e grãos partidos.

As propriedades físicas e aerodinâmicas de produtos agrícolas são importantes fontes de conhecimento na otimização de processos de dimensionamento para equipamentos de operações de colheita e pós-colheita (Ribeiro *et al.*, 2005; Resende *et al.*, 2008). Segundo Botelho *et al.* (2015) valores elevados de massa específica garantem uma melhor qualidade do produto agrícola para fins de comercialização.

A porosidade intergranular é uma característica física importante em várias operações unitárias na linha de processos de uma agroindústria (Cavalcanti Mata & Duarte, 2002), bem como o ângulo de repouso que se forma no momento da descarga dos produtos (em dutos, fitas transportadoras, tulas, moegas, armazéns a granel) e a massa específica aparente no momento do transporte. Goneli *et al.* (2011) ressaltam que o volume, a porosidade e a massa específica, são ferramentas importantes para o desenvolvimento de estudos envolvendo transferência de calor e massa e a movimentação de ar numa quantidade expressiva de grãos.

A determinação da velocidade terminal dos grãos, pode ser realizada colocando-se os materiais para flutuar numa corrente ascendente de ar (Magalhães, 2003). A velocidade necessária para o equilíbrio do material no fluxo de ar constante é igual à velocidade terminal do produto. Diversos estudos relatam que a velocidade terminal varia em função do teor de água do produto (Joshi *et al.*, 1993; Gupta e Das, 1997; Nimkar e Chattopadhyay, 2001; Baryeh, 2002).

Segundo Silva *et al.* (2003) o dimensionamento inadequado dos equipamentos pode ocasionar danos aos grãos e assim reduzir seu valor comercial. O tamanho e a forma são as propriedades de maior importância na limpeza e separação da massa dos grãos de suas impurezas, logo, com a mesma relevância, a velocidade do fluxo de ar é intimamente influenciada pela massa e pela forma do produto. Existem diversos fatores que influenciam no movimento relativo do fluxo de ar entre sólido-fluido, dentre eles a orientação do sólido durante o movimento e a rugosidade do produto (Srivastava *et al.*, 1993).

Assim, devido à importância comercial da soja e a limitação de informações referentes as propriedades físicas desse produto em diferentes condições, objetivou-se com o presente trabalho determinar as propriedades físicas dos grãos de soja para diferentes proporções de cotilédones e impurezas.

## MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Pós-colheita de Produtos Vegetais (LPCPV) do Instituto Federal Goiano (IF Goiano) - Campus Rio Verde. Para a determinação das propriedades físicas foram utilizados 10 kg de grãos de soja, cotilédones (bandinhas), impurezas (finas e grossas) e vagens, em 3 repetições, fornecidos pela Unidade Armazenadora de grãos da Caramuru Alimentos S.A. do município de Rio Verde, GO. Os materiais foram homogeneizados e logo após separados por meio de peneiras de crivos oblongos (4,5 x 22 mm e 3,5 x 22 mm).

Foram determinadas as propriedades físicas dos seguintes lotes: impurezas grossas, impurezas finas, cotilédones da máquina de limpeza (provenientes

da operação de limpeza dos grãos), cotilédones inteiros (obtidos manualmente), grãos inteiros. Além disso, foram analisadas as seguintes proporções: 89% de grãos inteiros/ 10% de cotilédones/ 1% de impurezas; 79% de grãos inteiros/ 20% de cotilédones/ 1% de impurezas; 69% de grãos inteiros/ 30% de cotilédones/ 1% de impurezas; 70% de grãos inteiros/ 30% de cotilédones; e 85% de grãos inteiros/ 15% cotilédones.

As proporções dos lotes foram determinadas em função da Instrução Normativa (IN) MAPA nº 11/2007 (Brasil, 2007), onde a soja destinada à indústria e à exportação, o limite máximo de tolerância de impurezas e matérias estranhas na amostra é de 1% e para grãos quebrados e partidos, o limite é de 30%.

O teor de água (% b.u.) dos materiais foi determinado por gravimetria (Brasil, 2009), em estufa de circulação de ar forçado por 24 h a  $105 \pm 3$  °C.

A massa específica aparente ( $\text{kg.m}^{-3}$ ) foi determinada em balança de peso hectolitro com recipiente de volume conhecido (1 L). Após o preenchimento e pesagem determinou-se a massa específica aparente ( $\rho_{\text{ap}}$ ) por meio da relação da massa (kg) e volume ( $\text{m}^3$ ).

A porosidade intergranular foi determinada pelo método direto descrito por Mohsenin (1986), onde se fixa uma altura de queda para enchimento de

uma proveta de 100 mL com o produto e após este enchimento, utiliza-se uma proveta de volume conhecido com hexano conforme recomendado por Donadon *et al.* (2012), para completar os espaços intergranulares até o desaparecimento das bolhas de ar.

A massa específica unitária ( $\rho_u$ ) foi calculada analiticamente em função da porosidade intergranular e da massa específica aparente (Mohsenin,1986).

$$\rho_u = \frac{\rho_{\text{ap}}}{(1 - \varepsilon)} \quad (1)$$

em que:

$\rho_{\text{ap}}$ : massa específica aparente,  $\text{kg.m}^{-3}$ ;

$\rho_u$ : massa específica unitária,  $\text{kg.m}^{-3}$ ;

$\varepsilon$ : porosidade intergranular, decimal.

O ângulo de repouso foi determinado por meio de um prisma transparente com dimensões de 0,3 x 0,2 x 0,3 m (comprimento, largura e altura), contendo uma das laterais móvel (Figura 1). O enchimento do prisma foi realizado com auxílio de um funil de recepção de amostra com altura de queda fixa de 0,60 m. Após o enchimento a lateral móvel foi removida e o ângulo de repouso foi determinado



**Figura 1** - Determinação do ângulo de repouso dos grãos de soja para diferentes proporções de cotilédones e impurezas.

considerando a altura do talude formado pelo produto.

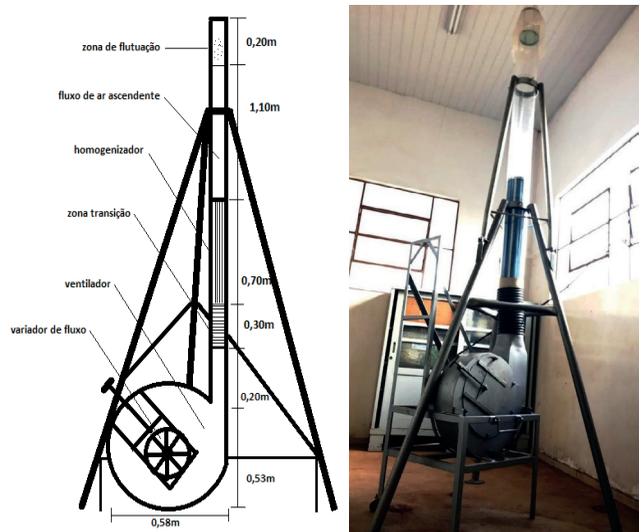
Para a determinação da velocidade terminal foi utilizada uma massa média de 4 g para cada amostra. Os grãos inteiros foram separados em duas peneiras distintas: peneira de crivos oblongos



**Figura 2** - Seleção dos materiais para avaliação individual da velocidade terminal: grãos inteiros retidos em peneiras 4,5 x 22 mm (A); impurezas grossas (B); grãos inteiros retidos em peneiras 3,5 x 22 mm (C); impurezas finas (D); cotilédones (E) e vagens verdes (F).

4,5 x 22 mm e 3,5 x 22 mm. Os cotilédones foram obtidos manualmente por meio da divisão dos grãos inteiros. As impurezas finas e grossas foram separadas em peneira de crivos circulares de 3,0 mm. As vagens verdes foram coletadas diretamente na descarga da soja em moega. A velocidade terminal das amostras ilustradas na Figura 2, foi determinada em distintos teores de água obtidos pela secagem com ventilação natural ao sol e apresentados no Quadro 3, sendo 4 (TA1, TA2, TA3 e TA4) para os cotilédones (18,30; 16,12; 13,87 e 12,17%), grãos inteiros retidos em peneiras 4,5 x 22 mm (17,44; 16,05; 14,64 e 12,66%) e grãos inteiros retidos em peneiras 3,5 x 22 mm (18,40; 16,38; 14,15 e 11,97%) e 3 (TA1, TA2 e TA3) para vagens secas (16,08; 15,53 e 12,73%), vagens verdes (58,93; 44,17 e 28,77%), impurezas finas (18,02; 14,06 e 12,13%) e impurezas grossas (18,24; 14,22 e 12,18%).

A velocidade terminal foi determinada utilizando o equipamento de coluna de ar (Figura 3), composto por um ventilador centrífugo conectado a um tubo de acrílico transparente, com diâmetro de 0,15 m e comprimento de 2,30 m. A 2,15 m da parte superior instalou-se uma tela perfurada, para colocação da amostra. Acoplou-se um retificador para uniformizar a distribuição do ar na secção transversal do tubo. Para o acionamento do ventilador foi utilizado um motor trifásico de 5 cv e um diafragma para controle da entrada do ar próximo ao ventilador.



**Figura 3** - Esquema do dispositivo utilizado para determinação da velocidade terminal (A) e Foto do equipamento (B).

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado com três repetições e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de água dos diferentes produtos utilizados na determinação das propriedades físicas apresentaram variações conforme apresentado no Quadro 1.

**Quadro 1** - Valores médios dos teores de água dos diferentes produtos utilizados na determinação das propriedades físicas

Produto	Teor de água (% b.u.)
Impurezas grossas	11,00
Impurezas finas	8,40
Cotilédones da máquina de limpeza	11,40
Cotilédones inteiros	11,18
Grãos inteiros	13,80

O teor de água é considerado o principal fator que influencia nos valores das propriedades físicas dos produtos agrícolas (Botelho *et al.*, 2015). Essa diferença de teor de água entre os materiais presentes na mesma massa, torna-se uma dificuldade no processamento, diminuindo assim a eficiência de máquinas de limpeza que compromete o manejo de operações no armazenamento dos grãos. Projetar tais equipamentos e máquinas de pós-colheita sem considerar essas variações podem gerar resultados insatisfatórios (Kakade *et al.*, 2019).

No Quadro 2 estão apresentadas as médias do ângulo de repouso, da porosidade intergranular, massa específica aparente e massa específica unitária dos grãos de soja, cotilédones e impurezas.

As impurezas grossas apresentaram maior ângulo de repouso que corresponde a 45,48°, enquanto que os grãos inteiros apresentaram menor ângulo de 28,81°, devido ao formato do produto, ao deslizamento e rearranjo dos grãos entre si. Entre as proporções ocorrem diferenças, sendo que a mistura com 85% de grãos inteiros e 15% de cotilédones apresentou menor ângulo de repouso de 29,68°. Por

**Quadro 2** - Valores médios do ângulo de repouso (AR), da porosidade intergranular (P), massa específica aparente ( $\rho_{ap}$ ) e massa específica unitária ( $\rho_u$ ) dos grãos de soja, cotilédones e impurezas

Tratamentos	AR (°)	P (%)	$\rho_{ap}$ (kg.m <sup>-3</sup> )	$\rho_u$ (kg.m <sup>-3</sup> )
Impurezas grossas	45,48 h	97,13 f	53,28 f	1.873,78 a
Impurezas finas	43,26 g	61,00 e	399,38 e	1.024,81 c
Cotilédones da máquina de limpeza	34,29 f	47,67 d	646,44 d	1.235,27 b
Cotilédones inteiros	32,39 e	45,33 c	678,40 c	1.241,00 b
Grãos inteiros	28,81 a	44,33 bc	720,25 a	1.293,84 b
G 89% C 10% I 1%	30,91 bcd	41,83 a	709,00 ab	1.219,02 b
G 79% C 20% I 1%	32,07 de	41,50 a	704,34 ab	1.204,06 b
G 69% C 30% I 1%	31,94 cde	42,00 a	697,59 bc	1.202,80 b
G 70% C 30%	30,73 bc	42,67 ab	699,10 abc	1.219,88 b
G 85% C 15%	29,68 ab	44,33 bc	702,85 ab	1.262,70 b

G: grão inteiro; C: cotilédones; I: impurezas finas.

outro lado, o maior valor observado foi a proporção de 79% de grãos inteiros, 20% de cotilédones e 1% de impureza fina. Os resultados indicam que a presença de impurezas finas no produto promove um aumento no ângulo de repouso, devido a impureza fina apresentar maior ângulo de repouso, fazendo com que os grãos inteiros e cotilédones se acomodem em uma inclinação maior.

A porosidade intergranular das impurezas grossas foi de 97,13%, enquanto que nos grãos inteiros foi de 44,33%, evidenciando assim, que quanto maior a presença de impurezas grossas, mais espaços vazios existirão na massa do produto. Na proporção de 85% de grãos e 15% de cotilédones observou-se maior porosidade, devido a maior presença de grãos inteiros que possuem maior espaço intergranular, enquanto que a proporção de 79% de grãos inteiros, 20% de cotilédones e 1% de impureza apresentou menor porosidade, pelo fato da presença das impurezas finas preencherem os espaços intergranulares. Kibar e Öztürk (2008) avaliando a variação do teor de água em grãos de soja inteiros, constataram que conforme diminui o teor de água dos grãos, ocorre um aumento linear da porosidade da massa.

A massa específica aparente dos grãos inteiros foi de 720,25 kg.m<sup>-3</sup>, sendo acentuadamente maior em relação as impurezas grossas (53,28 kg.m<sup>-3</sup>), o que favorece a ocupação do produto em um espaço devido ao seu volume e arranjo. A proporção com

89% de grãos inteiros, 10% de cotilédones e 1% de impureza foi a que apresentou maior massa específica aparente ( $709,00 \text{ kg.m}^{-3}$ ) dentre as proporções de impurezas estudadas, devido a maior quantidade de grãos inteiros.

Na determinação da porosidade de grãos de trigo mourisco, Quequeto *et al.* (2018) observaram que o valor encontrado para a massa específica aparente foi menor que o valor da massa específica unitária, semelhante ao comportamento do presente trabalho. Hauth *et al.* (2018) ao avaliarem a massa específica aparente de diferentes cultivares de soja, obtiveram valores de  $708,16$  a  $738,06 \text{ kg.m}^{-3}$  para o teor de água de 13,80% (b.u.), estando os resultados do presente trabalho dentro deste intervalo. Ainda os mesmos autores enfatizam que a massa específica aparente é uma das principais propriedades físicas usadas para avaliar a qualidade dos produtos.

Ao avaliar as variedades de feijão Carioquinha e Jalo, Corrêa *et al.* (2001) notaram que o aumento de impurezas grossas reduz a massa específica aparente e aumenta a porosidade, bem como o aumento do nível de impurezas finas resulta no aumento da massa específica aparente e redução da porosidade intergranular. Semelhante ao presente trabalho, os resultados demonstram que as impurezas grossas apresentam valores menores para massa específica aparente e maiores para a porosidade, e entre as proporções, as que foram adicionadas impurezas finas, apresentaram aumento na massa específica aparente e redução na porosidade da massa do produto avaliado.

Na variável massa específica unitária nota-se claramente o aumento dos valores da impureza grossa comparados à impureza fina, assim como em relação aos demais tratamentos. Ribeiro *et al.* (2005) avaliando as propriedades físicas dos grãos de soja durante a secagem observaram que a redução do teor de água provoca diminuição linear da porosidade e aumento das massas específica aparente e unitária.

Segundo Corrêa *et al.* (2006) trabalhando com grãos de trigo, a massa específica unitária e aparente aumentam e a porosidade diminui com a redução do teor de água, enquanto que no presente trabalho observou-se maior porosidade nas impurezas grossas, apresentando teor de água de 11% (b.u.).

Resende *et al.* (2005) mencionam que o teor de água é considerado um dos mais importantes na variação das propriedades físicas durante a secagem de produtos vegetais.

No Quadro 3 estão apresentados os valores médios da velocidade terminal obtidos experimentalmente para grãos de soja classificados em duas peneiras, vagens e impurezas em diferentes teores de água.

Verifica-se no Quadro 3 que para os diversos materiais, os quais diferem o tamanho, forma, massa e teor de água, foram identificadas variações na velocidade terminal. Em função do teor de água de cada produto a velocidade terminal apresenta variação, e notam-se menores valores de velocidade terminal em teores de água inferiores. De acordo com Teixeira (2013) a velocidade terminal

**Quadro 3** - Médias da velocidade terminal ( $\text{m.s}^{-1}$ ) de grãos de soja classificados em duas peneiras, vagens e impurezas grossas e finas em diferentes teores de água

Materiais	Teor de água	Velocidade terminal
	(% b.u.)	( $\text{m.s}^{-1}$ )
Vagens secas (TA1)	16,08	1,53 a
Impurezas finas (TA3)	12,13	1,54 a
Impurezas finas (TA2)	14,06	1,68 a
Cotilédones (TA2)	16,12	1,76 a
Impurezas grossas (TA2)	14,22	1,79 a
Impurezas grossas (TA3)	12,18	1,82 a
Vagens secas (TA3)	12,73	3,15 b
Vagens verdes (TA3)	28,77	3,24 b
Cotilédones (TA3)	13,87	3,25 b
Cotilédones (TA1)	18,30	3,24 b
Vagens secas (TA2)	15,53	3,38 b
Impurezas finas (TA1)	18,02	3,49 b
Grãos inteiros (peneira 4,5 x 22 mm - TA2)	16,05	3,54 b
Cotilédones (TA4)	12,17	3,60 b
Vagens verdes (TA2)	44,17	4,64 c
Grãos inteiros (peneira 3,5 x 22 mm - TA2)	16,38	4,69 c
Grãos inteiros (peneira 3,5 x 22 mm - TA1)	18,40	5,95 d
Grãos inteiros (peneira 3,5 x 22 mm - TA3)	14,15	6,23 de
Grãos inteiros (peneira 4,5 x 22 mm - TA3)	14,64	6,30 de
Impurezas grossas (TA1)	18,24	6,31 de
Grãos inteiros (peneira 4,5 x 22 mm - TA4)	12,66	6,39 de
Grãos inteiros (peneira 3,5 x 22 mm - TA4)	11,97	6,41 de
Grãos inteiros (peneira 4,5 x 22 mm - TA1)	17,44	6,57 de
Vagens verdes (TA1)	58,93	6,74 e

é influenciada pela variação de massa específica e dimensões dos grãos, que são sensíveis a alterações do teor de água do produto. No presente trabalho os resultados se diferenciam, devido a massa, forma e teor de água dos diferentes produtos. Segundo Couto *et al.* (2003) a interação dos fatores teor de água, tamanho e forma dos materiais contribui para a variação da velocidade terminal.

Os grãos retidos na peneira oblonga 4,5 x 22 mm, as vagens verdes e as impurezas grossas com o teor de água de 18% (b.u.) possuem maior velocidade terminal, devido à superioridade das características dimensionais e da massa dessas partículas. Segundo Nunes (2009), com a elevação do teor de água ocorre alterações nas características físicas do produto, principalmente a massa e o volume. As alterações dessas características promovem maior resistência ao deslocamento, quando o produto é submetido a um fluxo de ar, com isso, aumentando a velocidade terminal dos grãos. Para Corrêa *et al.* (2002), o teor de água influencia expressivamente nas características físicas, indicando relevantes variações de cada produto.

Os cotilédones, as impurezas grossas e finas e vagens com teores de água menores oferecem menor resistência ao deslocamento quando condicionados a um fluxo de ar. Segundo Teixeira (2013) para teores de água menores há também influência da contração volumétrica na determinação da velocidade terminal dos grãos. Nota-se que as vagens verdes apresentam alto teor de água e que a velocidade terminal foi maior para as vagens com os maiores teores de água (58,93 e 44,17% b.u.). As vagens verdes com teor de água de 58,93% (b.u.) possuem velocidade terminal igual aos grãos normais, deste modo, dificulta a separação no momento da trilha na colheita e nos processos de limpeza.

Este fato promove dificuldades nas etapas de colheita e pré-processamento de grãos de soja, pois as vagens verdes apresentam maiores dimensões, podendo ocasionar perda de produto ou má separação, reduzindo a eficiência de máquinas e equipamentos. Segundo Araujo *et al.* (2014) características dimensionais e de massa desses materiais oferecem maior resistência ao deslocamento quando são submetidos ao fluxo de ar.

## CONCLUSÃO

As propriedades físicas da soja variam quando são inseridas diferentes partículas no interior de uma quantidade de grãos. O ângulo de repouso aumenta com a maior quantidade de impurezas finas; a porosidade intergranular aumenta com a presença de impurezas grossas; a massa específica aparente é maior para grãos inteiros, enquanto que a massa específica unitária é maior para as impurezas grossas.

Os grãos, cotilédones, vagens e impurezas grossas e finas apresentam variações nos valores da velocidade terminal, sendo influenciados pelo teor de água, forma e tamanho das partículas. As vagens verdes com teor de água de 58,93% (b.u.) possuem maior velocidade terminal que dificulta a separação dos grãos.

## AGRADECIMENTOS

A Empresa Caramuru Alimentos S.A. pelo fornecimento do material experimental e ao IF Goiano, CNPq, CAPES, FAPEG e FINEP pelo auxílio financeiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anwar, F.; Kamal, G.M.; Nadeem, F. & Shabir, G. (2016) - Variations of quality characteristics among oils of different soybean varieties. *Journal of King Saud University - Science*, vol. 28, n. 4, p. 332-338. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2015.10.001>
- Araujo, W.D.; Goneli, A.L.D.; Souza, C.M.A.; Gonçalves, A.A. & Vilhasanti, H.C.B. (2014) - Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 18, n. 3, p. 279-286. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662014000300006>
- Baryeh, E.A. (2002) - Physical properties of millet. *Journal of Food Engineering*, vol. 51, n. 1, p. 39-46. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00035-8](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00035-8)

- Botelho, F.M.; Granella, S.J.; Botelho, S.C.C. & Garciam T.R.B. (2015) - Influência da temperatura de secagem sobre as propriedades físicas dos grãos de soja. *Engenharia na Agricultura*, vol. 23, n. 3, p. 212-219.
- Brasil (2007) - Estabelece o Regulamento Técnico da soja. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, 16 mai. 2007a, nº 93, Seção 1, p.13-15.
- Brasil (2009) - *Regras para Análise de Sementes*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Mapa/ACS, Brasília, 395 p.
- Cavalcanti Mata, M.E.R.M.C. & Duarte, M.E.M. (2002) - Porosidade intergranular de produtos agrícolas. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, vol. 4, n. 1, p. 79-93. <https://doi.org/10.15871/1517-8595/rbpa.v4n1p79-93>
- Corrêa, P.C.; Guimarães, W.T. & Afonso Júnior, P.C. (2001) - Efeito do nível e do tamanho de impurezas nas propriedades físicas da massa granular de feijão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 5, n. 1, p. 97-100. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662001000100017>
- Corrêa, P.C.; Junior, P.C.A.; Queiroz, D.M.; Sampaio, C.P. & Cardoso, J.B. (2002) - Variação das dimensões características e da forma dos frutos de café durante o processo de secagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 6, n. 3, p. 466-470. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662002000300014>
- Corrêa, P.C.; Ribeiro, D.M.; Resende, O. & Botelho, F.M. (2006) - Determinação e modelagem das propriedades físicas e da contração volumétrica do trigo, durante a secagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 10, n. 3, p. 665-670. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662006000300019>
- Couto, S.M.; Magalhães, A.C.; Queiroz, D.M. & Bastos, I.T. (2003) - Parâmetros relevantes na determinação antes na determinação da velocidade terminal de frutos de café. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 7, n. 1, p. 141-148. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662003000100023>
- Dobhal, N. & Raghuvanshi, R.S. (2018) - Physical characteristics and effect of germination on functional properties of black soybean (*Glycine max*). *Asian Journal of Dairy & Food Research*, vol. 37, n. 1, p. 55-60. <http://dx.doi.org/10.18805/ajdfr.DR-1320>
- Donadon, J.R.; Resende, O.; Castro, C.F.S.; Mendes, U.C. & Goncalves, D.N. (2012) - Comparação entre o tolueno e o hexano na determinação da porosidade intergranular de diferentes produtos agrícolas. *Revista Brasileira de Armazenamento*, vol. 37, p. 37-40.
- Goneli, A.L.D.; Corrêa, P.C.; Magalhães, F.E.A. & Baptestini, F.M. (2011) - Contração volumétrica e forma dos frutos de mamona durante a secagem. *Acta Scientiarum. Agronomy*, vol. 33, n. 1, p. 36-40. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v33i1.4629>
- Grassini, P.; Torrion, J.A.; Yang, H.S.; Rees, J.; Andersen, D.; Cassman, K.G. & Specht, J.E. (2015) - Soybean yield gaps and water productivity in the western US Corn Belt. *Field Crops Research*, vol. 179, p. 150-163. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.04.015>
- Gupta, R.K. & Das, S.K. (1997) - Physical properties of sunflower seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol. 66, n. 1, p. 1-8. <https://doi.org/10.1006/jaer.1996.0111>
- Hauth, M.R.; Botelho, F.M.; Hoscher, R.H.; Botelho, S.D.C. & Oliveira, G.H. de. (2018) - Physical properties of different soybean cultivars during drying. *Engenharia Agrícola*, vol. 38, n. 4, p. 590-598. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v38n4p590-598/2018>
- Hamawaki, R.L.; Hamawaki, O.T.; Nogueira, A.P.O.; Juliatti, F.C.; Glasenapp, J.S. & Hamawaki, C.D.L. (2019) - New high-yielding conventional soybean adapted to the states of Goiás, Minas Gerais and Mato Grosso, Brazil. *Acta Scientiarum. Agronomy*, vol. 41, art. e39913. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v41i1.39913>
- Joshi, D.C.; Das, S.K. & Mukherjee, R.K. (1993) - Physical properties of pumpkin seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol. 54, n. 3, p. 219-229. <https://doi.org/10.1006/jaer.1993.1016>
- Kakade, A.; Khodke, S.; Jadhav, S.; Gajabe, M. & Othzes, N. (2019) - Effect of moisture content on physical properties of soybean. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, vol. 8, n. 4, p. 1770-1782.
- Kibar, H. & Öztürk, T. (2008) - Physical and mechanical properties of soybean. *International Agrophysics*, vol. 22, n. 3, p. 239-244.
- Koubaa, M.; Mhemdi, H.; Barba, F.J.; Roohinejad, S.; Greiner, R. & Vorobiev, E. (2016) - Oilseed treatment by ultrasounds and microwaves to improve oil yield and quality: An overview. *Food Research International*, vol. 85, p. 59-66. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.04.007>

- Lu, S.; Zhao, X.; Hu, Y.; Liu, S.; Nan, H.; Li, X.; Fang, C.; Cao, D.; Shi, X.; Kong, L.; Su, T.; Zhang, F.; Li, S.; Wang, Z.; Yuan, X.; Cober, E. R.; Weller, J.; Liu, B.; Hou, X.; Tian, Z. & Kong, F. (2017) - Natural variation at the soybean *J* locus improves adaptation to the tropics and enhances yield. *Nature Genetics*, vol. 49, n. 5, p. 773-779. <https://doi.org/10.1038/ng.3819>
- Magalhães, A. C. (2003) - *Desenvolvimento e avaliação de uma máquina recolhadora de café em terreno utilizando transporte pneumático*. Dissertação de Mestrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 110 p.
- Menegassi, A.; E Silva, R.D.S.; Carlini, C.R.; Mithöfer, A. & Becker-Ritt, A.B. (2018) - Analysis of herbivore stress-and phytohormone-mediated urease expression in soybean (*Glycine max*). *Journal of Plant Growth Regulation*, vol. 37, n. 2, p. 419-425. <https://doi.org/10.1007/s00344-017-9739-x>
- Mohsenin, N.N. (1986) - *Physical properties of plant and animal materials*. New York, Gordon and Breach Publishers, 841 p.
- Nimkar, P.M. & Chattopadhyay, P.K. (2001) - Some physical properties of green grain. *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol. 80, n. 2, p. 183-189. <https://doi.org/10.1006/jaer.2000.0664>
- Nunes, D.M.C. (2009) - *Propriedades físicas, térmicas e aerodinâmicas de grãos de quinoa (Chenopodium quinoa Willd)*. Dissertação de Mestrado. Anápolis, Universidade Estadual de Goiás, 68 p.
- Phélinas, P. & Choumert, J. (2017) - Is GM Soybean cultivation in Argentina sustainable? *World Development*, vol. 99, p. 452-462. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2017.05.033>
- Priolli, R.H.G.; Mendes-Junior, C.T.; Sousa, S.M.B.; Sousa, N.E.A. & Contel, E.P.B. (2004) - Diversidade genética da soja entre períodos e entre programas de melhoramento no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 39, n. 10, p. 967-975. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2004001000004>
- Quequeto, W.D.; Siqueira, V.C.; Schoeninger, V.; Martins, E.A.; Isquierdo, E.P. & Silva, F.P.D. (2018) - Physical properties of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) grains during convective drying. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 22, n. 11, p. 793-798. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n11p793-798>
- Resende, O.; Corrêa, P.C.; Goneli, A.L.D. & Cecon, P.R. (2005) - Forma, tamanho e contração volumétrica do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) durante a secagem. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, vol. 7, n. 1, p. 15-24. <http://dx.doi.org/10.15871/1517-8595/rbpa.v7n1p15-24>
- Resende, O.; Corrêa, P.C.; Goneli, A.L.D. & Ribeiro, D.M. (2008) - Propriedades físicas do feijão durante a secagem: determinação e modelagem. *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 32, n. 1, p. 225-230. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542008000100033>
- Ribeiro, D.M.; Corrêa, P.C.; Rodrigues, D.H. & Goneli, A.L.D. (2005) - Análise da variação das propriedades físicas dos grãos de soja durante o processo de secagem. *Ciências e Tecnologia de Alimentos*, vol. 25, n. 3, p. 611-617. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612005000300035>
- Silva, F.S.; Corrêa, P.C.; Júnior, P.C.A. & Goneli, A.L.D.J. (2003) - Influência do teor de umidade na velocidade terminal de grãos de sorgo e milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, vol. 2, n. 3, p. 143-147.
- Srivastava, A.K.; Goering, C.E.E.; Rohrbach, R.P. & Buckmaster, D.R. (1993) - *Engineering principles of agricultural machines*. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers. 601 p.
- Teixeira, L. P. (2013) - *Caracterização física do óleo e grãos de abóbora (cucurbita moschata) objetivando a produção de biocombustível*. Dissertação de Mestrado. Niterói, Universidade Federal Fluminense Niterói, 131 p.
- Trentin, R.G.; Modolo, A.J.; Vargas, T.D.O.; Campos, J.R.D.R.; Adami, P.F. & Baesso, M.M. (2018) - Soybean productivity in Rhodic Hapludox compacted by the action of furrow openers. *Acta Scientiarum. Agronomy*, vol. 40, p. 1-9. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v40i1.35015>