

Propriedades mecânicas de grãos de feijão macáçar (*Vigna unguiculata*) em diferentes teores de água

Mechanical properties of macáçar beans (*Vigna unguiculata*) at different moisture content

Propiedades mecánicas del frijol macáçar (*Vigna unguiculata*) en diferentes contenidos de agua

Recebido: 21/02/2020 | Revisado: 03/03/2020 | Aceito: 11/03/2020 | Publicado: 18/03/2020

Maria Aparecida da Silva Lopes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0660-6444>

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, Brasil

E-mail: maria.slopes94@gmail.com

Oswaldo Resende

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5089-7846>

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, Brasil

E-mail: osvresende@yahoo.com.br

Jaqueline Ferreira Vieira Bessa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8775-6091>

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, Brasil

E-mail: jaqueline@agricola.eng.br

Daniel Emanuel Cabral de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3824-994X>

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Iporá, Brasil

E-mail: oliveira.d.e.c@gmail.com

Wellytton Darci Quequeto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0658-2692>

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Brasil

E-mail: wellytton_quequeto@hotmail.com

Resumo

O feijão macáçar é uma cultura utilizada na alimentação humana, sendo de grande importância econômica e social, devido apresentar alto valor nutritivo. Com a expansão da produção do feijão macáçar em larga escala torna-se necessária a melhoria de máquinas com a finalidade de

evitar injúrias no tegumento por danos mecânicos no momento da colheita. Assim, o objetivo neste trabalho foi avaliar as propriedades mecânicas de grãos de feijão macáçar em função dos diferentes teores de água obtidos com a secagem. Foram utilizados grãos de feijão macáçar colhidos manualmente, com teor de água inicial de 2,38 (decimal b.s.) no município de Santa Helena de Goiás (GO). Os teores de água (0,73; 0,71; 0,66; 0,50; 0,38; 0,35; 0,18 e 0,11 decimal b.s.) foram obtidos pela secagem realizada em estufa com ventilação forçada, mantida a temperatura de 50 °C. As amostras foram submetidas à compressão uniaxial em posição natural de repouso no equipamento texturômetro. De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que o teor de água influencia nas propriedades mecânicas dos grãos de feijão macáçar. Conforme diminui o teor de água, reduz a energia absorvida e aumenta a força de ruptura e o módulo proporcional de deformidade. A redução do teor de água proporciona aos grãos maiores resistências à impactos durante o pré-processamento do produto.

Palavras-chave: Compressão; Força de ruptura; Deformação.

Abstract

The macáçar bean is a crop used in food, being of great economic and social importance, because present high nutritional value. With the expansion of large-scale macáçar bean production it is necessary to improve machines in order to avoid insults in the integument due to mechanical damages at harvest time. Thus, the objective of this work was to evaluate the mechanical properties of bean pods as a function of the different moisture contents obtained with drying. Manatee beans harvested manually, with an initial moisture content of 2.38 (decimal b.s.) in the municipality of Santa Helena de Goiás (GO). The moisture contents (0.73, 0.71, 0.66, 0.50, 0.38, 0.35, 0.18, 0.11, 0.05, decimal bs) were obtained by drying furnace with forced ventilation, maintained at a temperature of 50 °C. The samples were submitted to uniaxial compression in natural resting position in the texturometer equipment. According to the results obtained, it is concluded that the moisture content influences the mechanical properties of the macáçar beans. As the moisture content decreases, it reduces the absorbed energy and the breaking force and the proportional modulus of deformity increase. The reducing the moisture content provides the grains with greater impact resistance during product preprocessing.

Keywords: Compression; Rupture force; Reformation.

Resumen

Los frijoles macáçar son un cultivo utilizado en la nutrición humana, siendo de gran importancia económica y social, debido a su alto valor nutricional. Con la expansión de la producción de frijoles macáçar a gran escala, es necesario mejorar las máquinas para evitar lesiones en la piel por daños mecánicos en el momento de la cosecha. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar las propiedades mecánicas de los granos de macáçar en función de los diferentes contenidos de agua obtenidos con el secado. Los frijoles macáçar se cosecharon manualmente, con un contenido de agua inicial de 2.38 (decimal b.s.) en el municipio de Santa Helena de Goiás (GO). Los contenidos de agua (0.73; 0.71; 0.66; 0.50; 0.38; 0.35; 0.18 y 0.11 decimal b.s.) se obtuvieron mediante secado en una estufa con ventilación forzada, mantenido a una temperatura de 50 °C. Las muestras se sometieron a compresión uniaxial en una posición de descanso natural en el equipo de texturómetro. Según los resultados obtenidos, se concluye que el contenido de agua influye en las propiedades mecánicas de los granos de macáçar. A medida que disminuye el contenido de agua, reduce la energía absorbida y aumenta la fuerza de ruptura y el módulo de deformación proporcional. La reducción del contenido de agua proporciona a los granos una mayor resistencia a los impactos durante el preprocesamiento del producto.

Palabras clave: Compresión; Fuerza de ruptura; Deformación.

1. Introdução

O feijão macáçar (*Vigna unguiculata*) é uma das fontes alimentares mais importantes e estratégicas para as regiões tropicais e subtropicais do planeta (Rodrigues et al., 2015). Devido ao alto valor nutritivo, é cultivado para produção de grãos, secos ou verdes (Morais et al., 2013). É considerada uma importante fonte de proteína vegetal na dieta humana, principalmente em regiões mais pobres, apresentando grande área de produção cultivada por pequenos agricultores (Sousa et al., 2016).

Normalmente durante a colheita, beneficiamento e secagem os grãos e sementes passam por processos que podem acarretar em danos mecânicos. Esses danos acontecem quando os esforços, aos quais são submetidas, excedem a força de resistência do produto (Resende et al., 2013).

É importante estudar o comportamento mecânico dos produtos, desde as cargas que estão submetidos até às forças impostas por máquinas durante o processamento (Couto et al., 2002), assim, evitando possíveis danos como trincas, fissuras e quebras, que resultam em uma série de problemas nas etapas subsequentes. Dessa forma, diversos estudos têm sido realizados sobre as propriedades mecânicas de diferentes produtos, como pinhão (Pensamiento-Niño et al., 2019),

soja (Kuzniar et al., 2016), pimenta-preta (Ghodki e Goswami, 2017), baru (Oliveira et al., 2017), tomate (Oliveira et al., 2015), crambe (Resende et al., 2018), sorgo (Rodrigues et al., 2019), feijão (Corrêa et al., 2019).

Dentre as diversas propriedades mecânicas, o módulo proporcional de deformidade permite comparar a resistência relativa de diversos materiais, além de influenciar no valor de deformação do produto (Resende et al., 2007). A partir da curva de “força versus deformação”, obtida a partir do teste de compressão, podem-se obter parâmetros que caracterizam a resposta do material quando submetido a uma carga (Ribeiro et al., 2007).

Devido à escassez de informações na literatura, a importância social e econômica do feijão macáçar, objetivou-se nesse trabalho, avaliar as propriedades mecânicas de grãos de feijão macáçar submetidos à compressão na posição natural de repouso em função dos diferentes teores de água obtidos com a secagem.

2. Metodologia

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Pós-colheita de Produtos Vegetais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - *Campus* Rio Verde (IF Goiano - *Campus* Rio Verde).

Foram utilizados grãos de feijão macáçar (*Vigna unguiculata*), colhidos manualmente na região de Santa Helena de Goiás - GO, com teor de água de aproximadamente 2,38 (b.s.).

Os teores de água foram obtidos pela secagem realizada em estufa com ventilação forçada, mantida a temperatura de 50 °C. A redução do teor de água ao longo da secagem, se fez acompanhar do método gravimétrico (perda de massa), conhecendo-se o nível inicial de teor de água do produto, até atingir o teor de água final de 0,11 (b.s.), com auxílio de uma balança semi-analítica com precisão de 0,01 g.

Os teores de água dos grãos foram determinados por gravimetria utilizando-se a estufa a 105 ± 3 °C, durante 24 h, em duas repetições (Brasil, 2009).

Para cada teor de água obtido (0,73; 0,71; 0,66; 0,50; 0,38; 0,35; 0,18 e 0,11 decimal b.s.), as amostras foram homogeneizadas e encaminhadas para o teste de compressão.

A determinação da resistência à compressão dos grãos foi realizada por meio de ensaios de compressão uniaxial, em amostra de 15 grãos para cada teor de água. Os ensaios experimentais de compressão nos grãos, analisados individualmente, foram realizados em uma máquina de ensaio universal de teste modelo “TA Hdi Texture Analyser” (Figura 1), utilizando-se uma célula de carga de 250 N.



Figura 1 - Texturômetro modelo “TA Hdi Texture Analyser” utilizado na determinação da resistência à compressão por meio de ensaios de compressão uniaxial com célula de carga de 250 N.

Os grãos foram submetidos a compressão na posição natural de repouso, ou seja, no sentido da espessura (menor eixo) a uma velocidade constante de $0,001 \text{ m.s}^{-1}$ (taxa de aplicação de força).

Após a aquisição dos dados foram confeccionadas curvas de força de compressão em função da deformação dos grãos para cada teor de água estudado. Para tanto utilizaram-se as deformações de 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4 e 2,6 ($\times 10^{-4} \text{ m}$) adaptadas de Batista et al. (2003) e Resende et al. (2007). Também foram confeccionadas curvas teor de água x força de compressão para cada deformação avaliada.

O módulo proporcional de deformidade foi determinado por meio da Eq. 1 conforme Batista et al. (2003).

$$E_p = \frac{0,531 \cdot F}{D^{\frac{3}{2}}} \cdot \left[2 \cdot \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R} \right)^{\frac{1}{3}} \right]^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

em que:

E_p : módulo proporcional de deformidade, Pa;

F: força de compressão, N;

D: deformação total (elástica e plástica) do corpo nos pontos de contato com a placa superior e inferior, m;

R, r: raios de curvatura no ponto de contato, m.

Obtiveram-se os valores dos raios de curvatura (r e R) dos grãos no ponto de contato por meio de ajustes de circunferência às curvaturas do corpo, segundo o plano coordenado da posição de compressão.

O ensaio foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial (9 x 13), sendo 9 teores de água e 13 deformações avaliadas. Os dados foram analisados por meio de análise de variância e regressão e o modelo selecionado, baseando-se na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste de “t” e se adotando o nível de 5% de significância, na magnitude do coeficiente de determinação e no conhecimento da evolução do fenômeno biológico.

Os valores de dureza e elasticidade dos grãos de feijão macáçar foram determinados em função do teor de água. Para tanto foi utilizada a Eq. 2 sugerida por Henry et al. (1996) no qual relataram que a força necessária para deformar materiais biológicos pode ser descrita como uma função da deformação de acordo com a série de Taylor:

$$F = d \cdot x + e \cdot x^2 + f \cdot x^3 \quad (2)$$

em que:

x: deformação, mm

d; e; f: coeficientes elásticos do modelo, unidades de $N \cdot mm^{-1}$, $N \cdot mm^{-2}$ e $N \cdot mm^{-3}$, respectivamente.

A Figura 2 ilustra a curva de força versus deformação representada de acordo com a Eq. 2. A utilização deste modelo permite a identificação de três seções distintas ao longo da curva: a seção inicial côncava, a seção intermediária que inclui o ponto de inflexão e a seção convexa em que a inclinação da curva diminui.

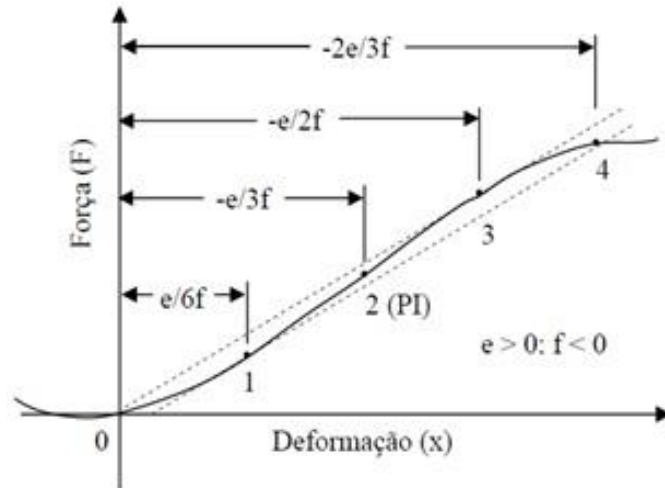


Figura 2 - Curva força versus deformação pela série de Taylor, para $e > 0$; $f < 0$; PI = ponto de inflexão (Henry et al., 1996).

A inclinação da curva força x deformação para um ponto qualquer é a tangente (T), obtida a partir da primeira derivada da Eq. 2, resultando na Eq. 3:

$$T = d + 2e \cdot x + 3f \cdot x^2 \quad (3)$$

A tangente máxima é obtida no ponto de inflexão da curva, em que $x = -e/3f$, sendo considerada um indicador da dureza do produto. A secante (S), inclinação da reta que passa pela origem e por um ponto qualquer da curva, é expressa pela Eq. 4:

$$S = d + e \cdot x + f \cdot x^2 \quad (4)$$

A secante máxima corresponde ao ponto onde o valor de deformação x é $-e/2f$, descrevendo a elasticidade em diferentes níveis de deformação.

A energia absorvida (E) ou necessária para a deformação, correspondente a área inferior formada a partir da origem até ao ponto de ruptura na curva de força-deformação, foi obtida conforme a Eq. 5:

$$E = \frac{F_r \cdot D}{2} \quad (5)$$

em que:

F_r - Força de ruptura;

D - Deformação necessária para a ruptura do grão.

3. Resultados e Discussão

Os valores da força (N) necessária para iniciar a ruptura dos grãos de feijão macáçar submetidos à compressão na posição natural de repouso aumentaram linearmente em função do teor de água (Figura 3). Nota-se que o incremento de 0,1 (decimal b.s.) no teor de água dos grãos resulta em um aumento de 10,9519 N na força de ruptura. Assim, para minimizar os danos por ruptura nos grãos, é interessante a utilização de menores teores de água, que conferem maior resistência à impactos no momento do manuseio do produto.

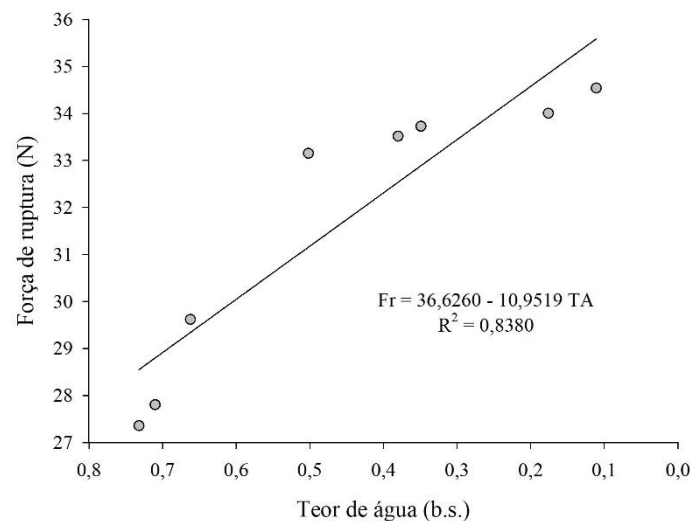


Figura 3 - Valores médios da força de ruptura (N) em função do teor de água (b.s.), para os grãos de feijão macáçar (*Vigna unguiculata*) na posição natural de repouso.

Oliveira et al. (2017) avaliaram a influência do teor de água na faixa de 0,33 a 0,05 (decimal b.s.) e das temperaturas de secagem de 60, 80 e 100 °C nos valores de força de ruptura dos frutos de baru, e concluíram que independentemente da temperatura de secagem, com a redução do teor de água, as células tornam mais próximas, resultando em maior resistência à ruptura do tegumento dos frutos de baru.

Para um mesmo teor de água, quando se aumenta a deformação ocorre a elevação da força de compressão, e como esperado, com o aumento da deformação ocorreu um sensível incremento da força (Figura 4). Independentemente da deformação, quando se diminui o teor de água dos grãos de feijão macáçar, aumenta a força de compressão. Estes resultados estão coerentes aos obtidos por Fernandes et al. (2014), ao avaliarem grãos de trigo da cultivar Brilhante, submetidos à da compressão a uma velocidade de 0,0001 m.s⁻¹, com teor de água

variando de 0,14 a 0,26 (b.s.), concluíram que com a redução do teor de água, a força de compressão necessária para deformar o grão aumenta.

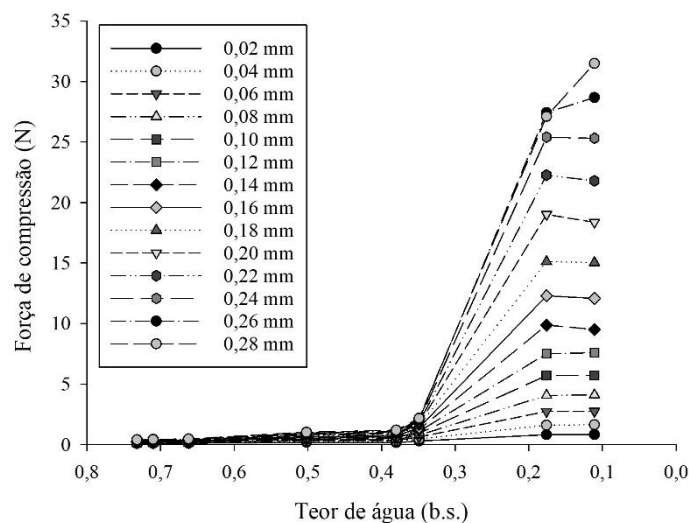


Figura 4 - Valores médios da força de compressão (N) para os grãos de feijão macáçar (*Vigna unguiculata*) em função do teor de água e da distância necessária para causar deformação, na posição natural de repouso.

Os menores teores de água (0,18 e 0,11 decimal b.s.) requerem maior força de compressão para todas as deformações, indicando maior resistência do tegumento às forças exercidas. Logo, para os grãos de feijão macáçar com teores de água mais elevados apresentam menor resistência à compressão, que é aumentada conforme se reduz o teor de água.

Os raios de curvatura (r e R) foram gerados graficamente e obtidos por meio da circunferência do formato dos grãos no momento do contato a probe de compressão. Os valores dos raios de curvatura oscilaram, variando entre 4,99 e 5,30 (mm) para r e 8,03 e 9,28 (mm) para R , de acordo com os diferentes teores de água (0,73; 0,71; 0,66; 0,50; 0,38; 0,35; 0,18 e 0,11 decimal b.s.), conforme apresentado na Tabela 1. Estes resultados corroboram com mesmo comportamento obtido por Resende et al. (2013), que observaram uma variação nos raios de curvatura ao avaliarem grãos de arroz com e sem casca na faixa de teor de água entre 0,30 e 0,13 (decimal b.s.), assim como Rodrigues et al. (2019) avaliando as propriedades mecânicas em grãos de sorgo com teores de água de 0,515 a 0,099 (decimal b.s.).

Tabela 1 - Valores médios dos raios de curvatura (r e R) dos grãos de feijão macáçar (*Vigna unguiculata*) para diferentes teores de água utilizados para calcular o módulo proporcional de deformidade.

Teor de água (decimal b.s.)	r (mm)	R (mm)
0,73	5,12	9,28
0,71	5,27	8,81
0,66	5,30	8,68
0,50	5,04	9,07
0,38	5,18	8,86
0,35	5,20	9,13
0,18	4,99	8,03
0,11	5,14	8,69

Os valores do módulo proporcional de deformidade foram obtidos a partir dos dados de força de compressão e aumentam com a redução do teor de água e da deformação do produto (Figura 5). Quando o módulo de deformidade apresenta valor elevado, indica que uma força maior deve ser aplicada para se obter determinada deformação (Batista et al., 2003).

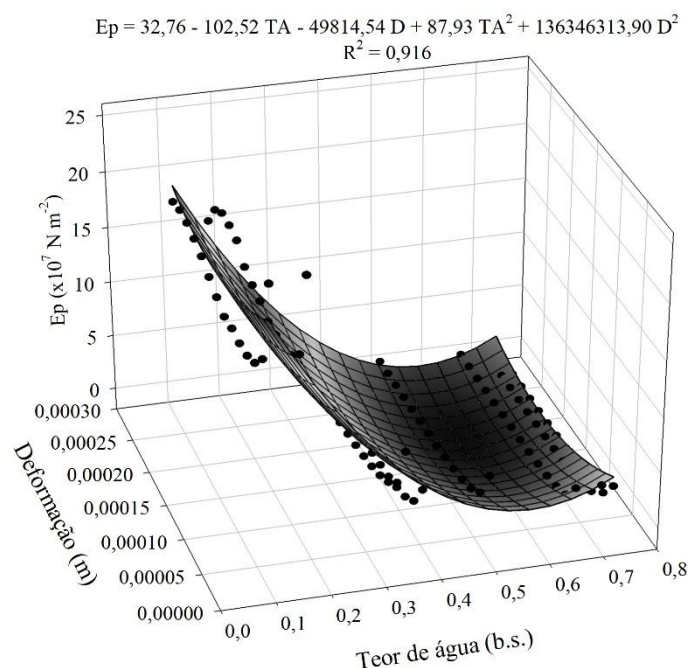


Figura 5 - Valores observados e estimados do Módulo proporcional de deformidade (E_p) em função da deformação e do teor de água.

Para as deformações entre 0,2 e 2,6 ($\times 10^{-4}$ m) e para os diferentes teores de água de 0,73 a 0,11 (decimal b.s.), os valores do módulo proporcional de deformidade variaram entre 0,23 e

25,06 ($\times 10^7$ N.m⁻²). Ao determinar o módulo proporcional de deformidade de grãos de feijão *Phaseolus vulgaris*, Resende et al. (2007), obtiveram os valores do módulo proporcional de deformidade entre 4,1 e 71,3 ($\times 10^7$ N.m⁻²) para a faixa de teor de água entre 0,13 a 0,45 (decimal b.s.) para as três posições de compressão do grão, e concluíram que a redução da deformação e do teor de água, aumentam os valores do módulo proporcional de deformidade.

Observa-se ainda que, a partir do teor de água 0,35 (decimal b.s.), os valores de módulo proporcional de deformidade tornam-se praticamente constantes, sendo assim, semelhante aos resultados encontrados por Ribeiro et al. (2007), em que os valores do módulo proporcional de deformidade se tornaram estáveis e constantes para os teores de água acima de 0,22 (decimal b.s.).

Avaliando grãos de trigo, Fernandes et al. (2014) obtiveram resultados semelhantes ao presente trabalho, sendo assim, na faixa de teor de água de 0,14 a 0,26 (decimal b.s.), o módulo proporcional de deformação variou entre 8,9 a 51,2 ($\times 10^7$ N.m⁻²). Com o objetivo de obter o módulo proporcional de deformidade de frutos de café em diferentes estádios de maturação, Couto et al. (2002) também observaram que com o aumento da deformação, os valores do módulo diminuíram.

Os valores dos coeficientes elásticos “d”, “e”, “f” oscilaram com a redução do teor de água, não apresentando uma tendência clara em função da redução do teor de água (Tabela 2). Estes resultados discordam daqueles obtidos por Ribeiro et al. (2007) e Couto et al. (2002), em que os valores dos coeficientes aumentaram com a redução do teor de água dos grãos de soja e café, respectivamente. Conforme modelo descrito por Henry et al. (1996), o coeficiente “e” deve apresentar valores positivos, e “f”, valores negativos, indicando que o material não apresenta danos, e que os valores “d” são positivos devido estabelecer a inclinação inicial da curva. Os sinais não satisfatórios podem ser devidos a alguma das causas: (1) deslizamento do grão entre as placas de compressão; (2) grãos apresentando danos físicos não detectáveis visualmente; e (3) grãos apresentando teor de água alto, dificultando assim a detecção do ponto de ruptura devido à sua elevada maciez.

Tabela 2 - Valores dos coeficientes elásticos “d”, “e”, “f”, para cada teor de água dos grãos de feijão macáçar comprimidos na posição natural de repouso.

Teor de água	d (N.mm ⁻¹)	e (N.mm ⁻²)	f (N.mm ⁻³)
0,73	3,31	-16,25	34,57
0,71	3,54	-16,07	32,04

0,66	3,89	-18,76	39,16
0,50	6,69	-23,66	46,74
0,38	6,75	-19,95	39,89
0,35	11,79	-25,18	41,19
0,18	-7,89	795,18	-1434,10
0,11	17,18	425,90	-278,69

Observa-se ainda na Tabela 2 que os parâmetros “e” e “f” dos teores de água 0,73; 0,71 e 0,66; 0,50; 0,38 e 0,35 (decimal b.s.) não apresentaram comportamento esperado devido aos grãos avaliados apresentaram teor de água elevado. Para os teores de água 0,18 e 0,11 (decimal b.s.) os valores dos coeficientes apresentaram os sinais esperados, porém para os parâmetros “e” e “f” os valores aumentaram. O parâmetro “d” apresentou valor negativo apenas para o teor de água 0,18 (decimal b.s.), indicando problemas do material ou do teste.

Ribeiro et al. (2007) notaram que com a redução do teor de água de grãos de soja na faixa de 0,32 a 0,09 (decimal b.s.) ocorre aumento nos valores dos coeficientes de elasticidade.

A tangente e secante máximas foram obtidas para as deformações: $x = -e/3f$ e $x = -e/2f$, respectivamente para os diferentes teores de água (Tabela 3). Os valores da tangente máxima aumentaram de 0,77 a 234,13 N.mm⁻¹, e os valores da secante máxima de 1,40 a 179,90 N.mm⁻¹ na faixa de teor de água de 0,73 a 0,11 (decimal b.s.). Com a redução do teor de água os valores máximos da tangente e secante aumentam, corroborando com os resultados obtidos por Henry et al. (2000) e Resende et al. (2018). Os valores da tangente máxima são maiores em relação aos da secante para um mesmo teor de água concordando com Ribeiro et al. (2007), que observaram também aumento dos valores da tangente e secante máximas com a redução do teor de água dos grãos de soja submetidos à compressão.

Tabela 3 - Valores máximos da tangente e secante da curva força em função da deformação e da energia absorvida dos grãos de feijão maciço, submetidos a compressão na posição natural de repouso, para diferentes teores de água.

Teor de água (decimal b.s.)	Tangente máxima (N.mm ⁻¹)	Secante máxima (N.mm ⁻¹)	Energia absorvida (mJ)
0,73	0,766	1,402	39,891
0,71	0,852	1,523	39,045
0,66	0,892	1,641	38,254

0,50	2,699	3,697	42,283
0,38	3,424	4,256	42,704
0,35	6,403	7,750	41,269
0,18	139,084	102,342	5,168
0,11	234,132	179,893	5,181

A tangente máxima indica dureza do produto, e a secante máxima corresponde à capacidade de resistência à elasticidade máxima. Sendo assim, para a faixa de teor de água de 0,73 a 0,11 (decimal b.s.) o produto apresenta aumento de dureza e resistência à elasticidade proporcionalmente a um aumento da deformidade.

Ainda na Tabela 3, nota-se que os valores da energia absorvida pelos grãos de feijão macáçar durante a compressão apresentaram uma acentuada diminuição para os teores de água de 0,18 e 0,11 (decimal b.s.). Este fato deve-se a menor área de contato dos grãos com a probe de compressão, que diminui a distância de deformação necessária para a ruptura do grão.

4. Conclusões

O teor de água influencia nas propriedades mecânicas dos grãos de feijão macáçar. Conforme diminui o teor de água, reduz a energia absorvida e aumenta a força de ruptura e o módulo proporcional de deformidade, assim como aumenta a resistência à compressão.

A redução do teor de água proporciona aos grãos maiores resistências à impactos mecânicos durante o pré-processamento.

5. Agradecimentos

Ao IF Goiano, CAPES, FAPEG, FINEP e CNPq pelo apoio financeiro indispensável para execução deste trabalho.

6. Referências

Batista, C. D. S., Couto, S. M., Cecon, P. R., & Peixoto, A. B. (2003). Efeito da temperatura do ar de secagem, do teor de umidade e do estágio de maturação no módulo de deformidade de frutos de café (*Coffea arabica* L.). *Revista Brasileira de Armazenamento*. 6(1), 42-53.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. (2009). *Regras para análise de sementes*.

Couto, S. M., Batista, C. D. S., Peixoto, A. B., & Devilla, I. A. (2002). Comportamento mecânico de frutos de café: módulo de deformidade. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 6(2), 285-294.

Corrêa, P. C., Paixão, A. A. D., Baptestini, F. M., Vanegas, J. D. B., & Zeymer, J. S. (2019). Mechanical properties of bean grains (BRSMG Majestic) coated with carnauba wax. *Ciência Rural*, 49(9), 1-7.

Fernandes, L. S., Correa, P. C., Diniz, M. D. M. S., Leite, D. M., & Vasconcellos, D. (2014). Mechanical properties of wheat grains under compression. *Bioscience Journal*, 30(1), 219-223.

Ghodki, B. M., & Goswami, T. K. (2017). Thermal and mechanical properties of black pepper at different temperatures. *Journal of Food Process Engineering*, 40(1), 1-11.

Henry, Z. A., Zhang, H., & Onks, D. (1996). Generalized model of resistance to strain of cellular material. *St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers*, 1-26.

Henry, Z. A., Su, B., & Zhang, H. (2000). Resistance of soya beans to compression. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 76(2), 175-181.

Kuźniar, P., Szpunar-Krok, E., Findura, P., Buczek, J., & Bobrecka-Jamro, D. (2016). Physical and chemical properties of soybean seeds determine their susceptibility to mechanical damage. *Zemdirbyste-Agriculture*, 103(2), 183-192.

Morais, S. J. da Silva, Devilla, I. A., Ferreira, D. A., & Teixeira, I. R. (2013). Modelagem matemática das curvas de secagem e coeficiente de difusão de grãos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). *Revista Ciência Agronômica*, 44(3), 455-463.

Oliveira, G. H. H. de, Corrêa, P. C., Botelho, F. M., & Oliveira, A. P. L. R. de. (2015). Mechanical properties of tomatoes subjected to an induced compression during storage. *Journal of Texture Studies*, 46(4), 293-301.

Oliveira, D. E. C. de, Resende, O., & Devilla, I. A. (2017). Mechanical properties of baru fruit (*Dipteryx alata* Vogel). *Semina: Ciências Agrárias*, 38(1), 185-196.

Pensamiento-Niño, C. A., Hernández-Santos, B., Herman-Lara, E., Juárez-Barrientos, J. M., Martínez-Sánchez, C. E., Ramírez-Rivera, E. J., & Rodríguez-Miranda, J. (2019). Physical, mechanical, functional and chemical properties of Mexican pink pinion (*Pinus pinea* L.). *Journal of food science and technology*, 56(2), 763-774.

Resende, O., Corrêa, P. C., Ribeiro, D. M., & Figueiredo Neto, A. (2007). Comportamento mecânico dos grãos de feijão submetidos a compressão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11(4), 404-409.

Resende, O., Corrêa, P. C., de Oliveira, G. H. H., Goneli, A. L. D., & Jarén, C. (2013). Mechanical properties of rough and dehulled rice during drying. *International Journal of Food Studies*, 2(2), 158-166.

Resende, O., Ferreira, R. B., Ullmann, R., Oliveira, D. E. C. D., Corrêa, P. C., & Costa, L. M. (2018). Moisture content on the mechanical behavior of crambe grains. *Ciência Rural*, 48(7), 1-6.

Ribeiro, D. M., Corrêa, P. C., Furtado, B. F., Goneli, A. L., & Resende, O. (2007). Propriedades mecânicas dos grãos de soja em função do teor de água. *Engenharia Agrícola*, 27(2), 493-500.

Rodrigues, G. B., Resende, O., Oliveira, D. E. C. de, Silva, L. C. de M., Ferreira Junior, W. N. (2019). Mechanical properties of grains sorghum subjected to compression at different moisture contents. *Journal of Agricultural Science*, 11(4), 279-287.

Rodrigues, A. P. M. D. S., Mendonça Júnior, A. F. D., Torres, S. B., Nogueira, N. W., & Freitas, R. M. O. D. (2015). Teste de tetrazólio para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. *Revista Ciência Agronômica*, 46(3), 638-644.

Sousa, M., Silva, P. R. R., França, S. M. de, Costa Silva, J. D. de, & Morais Sousa, F. de. (2016). Seleção de genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) para resistência a *Callosobruchus*

maculatus. Revista de Ciências Agrárias - Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, 59(2), 190-195.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Maria Aparecida da Silva Lopes – 20%

Oswaldo Resende – 20%

Jaqueline Ferreira Vieira Bessa – 20%

Daniel Emanuel Cabral de Oliveira – 20%

Wellyton Darci Quequeto – 20%