



DOI: <http://dx.doi.org/10.17224/EnergAgric.2018v33n4p385-390>

PROTÓTIPO PARA CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DAS SEMENTES DO CACAUEIRO (*Theobroma cacao* L.)

Myrella Katlhen da Cunha de Araujo¹, Ramon Rene de Cristo Silva², Arlindo Modesto Antunes³ & Magnun Antônio Penariol da Silva⁴

RESUMO: O cacau é uma cultura perene de grande valor econômico na região norte brasileira, todavia apresenta dificuldades de armazenamento e secagem que mantenham a qualidade do produto final. Com isso, o objetivo do presente estudo vai além de verificar as características físicas: ângulo de repouso, volume unitário, massa específica unitária, massa específica aparente, porosidade e esfericidade do cacau, sendo o principal resultado a obtenção de um protótipo para obter o ângulo de repouso das sementes, com intuito de colaborar com futuros estudos de dimensionamento de equipamentos, silos, secadores e correias transportadoras. O trabalho foi conduzido no município de Tomé-Açu com a construção de um protótipo para mensurar o ângulo de repouso formado pelas sementes e analisar as características físicas: ângulo de repouso, volume unitário, massa específica unitária, massa específica aparente, porosidade e esfericidade. O equipamento produzido foi comparado a outro já estabelecido e contou com 10 repetições, a esfericidade foi realizada com obtenção dos eixos ortogonais de 15 sementes, o volume unitário considerou o volume de um elipsoide triaxial com 15 repetições e a porosidade da massa de grãos foi determinada pelo método direto pela inserção de um fluido de óleo vegetal em uma massa conhecida. Os resultados foram submetidos ao teste de média (T) com p-valor <0,05 de significância. Com os resultados obtidos observou-se que o protótipo produzido obteve êxito comparado ao já estabelecido, com ângulo de repouso inferior a 35°, portanto as sementes do cacau foram denominadas como de fluxo livre. Quanto à esfericidade os valores variaram entre 15,75 a 35,16%, sendo impossível classificá-las como esféricas, para volume unitário variaram entre 1,24 a 4,25 cm³, a massa específica unitária de 1,06 a 1,15 g/cm³ e a massa específica aparente de 0,48 a 0,53 g/cm³, assim admitindo porosidade variável entre 0,53 a 0,56. Dessa forma, os dados obtidos no trabalho corroboram com futuros estudos de dimensionamento, melhoria e projeção de silos, secadores e correias transportadoras.

PALAVRAS-CHAVE: equipamento agrícola, ângulo de repouso, porosidade das sementes, cacau, esfericidade.

PROTOTYPE FOR PHYSICAL CHARACTERIZATION OF COCOA SEEDS (*Theobroma cacao* L.)

ABSTRACT: Cacao is a perennial crop of great economic value in the northern region of Brazil, but it presents storage and drying difficulties that maintain the quality of the final product. Therefore, the objective of this study is to verify the physical characteristics: angle of repose, unit volume, specific unit mass, apparent specific mass, porosity and sphericity of cocoa, the main result being a prototype to obtain the angle in order to collaborate with future studies on sizing equipment, silos, dryers and conveyor belts. The work was carried out in the city of Tomé-Açu with the construction of a prototype to measure the angle of rest formed by the seeds and to analyze the physical characteristics: rest angle, unit volume, specific mass, apparent specific mass, porosity and sphericity. The equipment produced was compared to another one already established and counted on 10 repetitions, the sphericity was realized to obtain orthogonal axes of 15 seeds, the unit volume considered the volume of a triaxial ellipsoid with 15 repetitions and the porosity of the mass of grains was determined by the direct method by inserting a vegetable oil fluid into a known mass. The results were submitted to the mean (T) test with p-value <0.05 of significance. With the results obtained it was observed that the prototype produced was successful compared to the already established, with angle of rest less than 35°, therefore the cocoa seeds were denominated as free flow. As for sphericity, the values ranged from 15.75 to 35.16%, being impossible to classify them as spherical, for unit volume ranged from 1.24 to 4.25 cm³, the specific unit mass from 1.06 to 1.15 g/cm³ and the apparent specific mass of 0.48 to 0.53 g/cm³, thus admitting varying porosity between 0.53 to 0.56. Thus, the data obtained in the work corroborate with future studies of sizing, improvement and projection of silos, dryers and conveyor belts.

KEYWORDS: agricultural equipment, angle of repose, seed porosity, cocoa, sphericity.

1 INTRODUÇÃO

O cacauieiro (*Theobroma cacao* L.) é uma das culturas perenes mais cultivadas na região norte do Brasil, com ênfase no estado do Pará, apresentando elevado índice de produção nos sistemas agroflorestais do município de Tomé-Açu, e esta produção é exportada pela Cooperativa Agrícola mista de Tomé-Açu – CAMTA (REGO e KATO, 2017), principalmente para a produção de chocolate, gerando renda para a população local.

Noções em relação à estrutura, composição e propriedades físicas dos produtos agrícolas como grãos e derivados, são de extrema importância para o estudo sobre secagem e armazenamento (CORRÊA e SILVA, 2008). Segundo COSTA et al. (2010), a estocagem de grãos é de primordial importância na cadeia produtiva, uma vez que, afeta a qualidade do produto final. As operações de pós-colheita constituem etapas indispensáveis ao sistema de produção, pois propiciam a preservação das características naturais do produto final, manipulando os mesmos para uma armazenagem segura (NUNES et al., 2014).

Além disso, é importante conhecer as características físicas dos produtos agrícolas e seus princípios para construir e operar equipamentos de secagem e armazenamento e adaptar equipamentos existentes para melhorar o rendimento de operações no processamento (CORRÊA e SILVA, 2008).

O ângulo de repouso dos grãos auxilia a mensurar a capacidade estática dos silos, a capacidade de correias transportadoras, o dimensionamento de moegas, dutos e rampas de descarga de grãos (CORRÊA e SILVA, 2008). Ainda, a variabilidade entre dispositivos permite a confecção de dispositivos dimensionados de acordo com a necessidade quantitativa dassementes.

No que se refere aos estudos que envolvem movimentação de massas granulares e transferência de calor e massa, informações sobre tamanho, volume, porosidade e massa específica dos produtos agrícolas são consideradas de grande importância (GONELI et al., 2011; NUNES et al., 2014)

O tamanho e a forma são características específicas de cada produto, definidas geneticamente, que podem ser influenciadas pelo ambiente durante e após o período de sua formação e que influencia as demais propriedades físicas do produto. Dados que podem ser utilizados para o dimensionamento do tamanho e da forma dos furos das peneiras em equipamentos destinados à separação e classificação (CORRÊA e SILVA, 2008).

¹ Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA. Discente em Engenharia Agrícola. E-mail: myrellakaraujo@gmail.com

² Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA. Discente em Engenharia Agrícola. E-mail: reneramon42@gmail.com

³ Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA. Docente do curso de Engenharia Agrícola. Mestre em Engenharia Agrícola. E-mail: arlando.modesto1@hotmail.com

⁴ Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA. Docente do curso de Engenharia Agrícola. Doutor em Agronomia (Energia na Agricultura). E-mail: penariol@gmail.com

Portanto, o objetivo do presente trabalho vai além de verificar as características físicas: ângulo de repouso, volume unitário, massa específica unitária, massa específica aparente, porosidade e esfericidade do cacau, sendo o principal resultado a obtenção de um protótipo para obter o ângulo de repouso das sementes com intuito de colaborar com futuros estudos de dimensionamento de equipamentos, silos, secadores e correias transportadoras.

2 MATERIAL EMÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O presente estudo foi realizado no laboratório da Universidade Federal Rural da Amazônia no Campus de Tomé-Açu/PA com coordenadas geográficas de 02°24'15''S e 48°09'51''W. Com intuito de conhecer características físicas da semente do cacauieiro.

2.2 ÂNGULO DE REPOUSO DASSEMENTES

O experimento foi conduzido em função das variáveis: volume unitário, porosidade, esfericidade seguindo as Regras de Análises de Sementes – RAS (BRASIL, 2009) e ângulo de repouso. De acordo com o trabalho de Nunes et al. (2014), foi realizada a verificação do ângulo de repouso a partir de um protótipo desenvolvido na instituição, com base nos estudos de Corrêa e Silva (2008) com intuito de mensurar o ponto de máxima do talude formado pela queda dos grãos/sementes e comparado a outro equipamento já estabelecido, desenvolvido a partir de estudos anteriores realizados pelos autores.

Foi constituído por uma caixa com 40 cm de altura, 25 x 25 comprimento e largura, 20 cm de moega, 28 cm de divisor móvel, visor de 22x21cm, contendo uma gaveta ao fundo com 10 cm de altura, 25 x 25 largura e comprimento. No mais, a abertura de queda contendo 5 cm.

Para determinio do ângulo de repouso das sementes foi realizado o derramamento através de uma abertura lateral com aplicação de velocidade constante, ocasionando o amontoado para verificação do ângulo de repouso, como na figura 2.

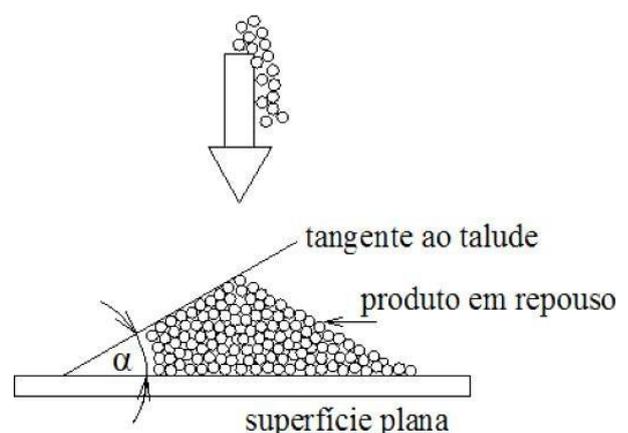


Figura 2 - Determinação do ângulo de repouso (CORRÊA e SILVA, 2008).

Para mensurar o ângulo de repouso foi necessário utilizar a equação (1) para o equipamento A e a equação (2) para o equipamento estabelecido B):

$\arctg = \text{base/altura}$ (1) ang.

rep.: $\text{arc tg} (2h/d)$ (2) No

qual,

d: diâmetro do disco;

h: altura dos grãos retidos;

Foi utilizada uma régua milimetrada, para coletar os dados de altura e base dos amontoados. Pela equação foram obtidos valores médios para comparar o protótipo A) a outro já estabelecido B) como na figura 3, com 10 repetições em função de uma mesma altura de queda de (36 cm).



A)



B)

Figura 3 - Fotografia dos equipamentos para medição do ângulo de repouso das sementes de cacau. A- protótipo desenvolvido e B- Equipamento já estabelecido.

ESFERICIDADE DAS SEMENTES

A esfericidade das sementes foi realizada a partir da seleção aleatória de 15 sementes, obtida em porcentagem (%) como no trabalho de Corrêa et al. (2005) e calculada através dos valores observados nos eixos ortogonais, utilizando a expressão (3) abaixo, de Mohsenin (1986):

$$E = \left[\frac{(abc)^{\frac{1}{3}}}{a} \right] \times 100 \quad (3)$$

No qual:

a: comprimento, (mm);

b: largura, (mm);

c: espessura, (mm);

E: esfericidade, (%).

VOLUME UNITÁRIO DAS SEMENTES

Para determinação do volume unitário da amostra foi considerado o volume de um elipsoide triaxial com diâmetros semelhantes ao da amostra, determinado pela seguinte equação(4):

$$V_s = \frac{4 \times a \times b \times c}{3} \quad (4)$$

a: comprimento, (cm);

b: largura, (cm);

c: espessura, (cm);

V_s: Volume sólido, (cm³).

POROSIDADE DAS SEMENTES

Assim como no trabalho de Coradi et al. (2015), a porosidade da massa de grãos foi determinada pelo método direto de Mohsenin (1986), pela inserção de um fluido de óleo vegetal (óleo de soja, com densidade de 0,89 g.cm⁻³) em uma massa conhecida, com auxílio de um Becker de 100 ml e uma bureta de 100 ml, com três repetições de 15 sementes cada amostra. Determinada pela equação (5):

$$\varepsilon = \left[1 - \left(\frac{\rho_{Ap}}{\rho_{Un}} \right) \right] \quad (5)$$

Em que,

ε : porosidade (decimal);

ρ_{Ap} : massa específica aparente, (cm³);

ρ_{Un} : massa específica unitária, (cm³).

A massa específica unitária foi determinada pela divisão da massa pelo volume das sementes. A massa específica aparente foi obtida pela relação entre massa das sementes, mensurada com auxílio da balança analítica e o volume ocupado pelas sementes no recipiente.

ANÁLISE DE DADOS

Os dados obtidos para ângulo de repouso entre os dois equipamentos foram submetidos ao teste de média (T) com p-valor <0,05 de significância no software estatístico SPSS versão 22.0.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

potencial na medição do ângulo de repouso das sementes de cacau.

3.1 ÂNGULO DE REPOUSO

Os equipamentos A e B não apresentaram diferença significativa, portanto o protótipo desenvolvido possui

Tabela 1 - Ângulo de repouso formado pelas sementes de cacau nos equipamentos A- protótipo desenvolvido e B- Equipamento já estabelecido, com valores médios de altura (h), comprimento (l), ângulo (Θ) e diâmetro (\emptyset) na região norte brasileira em 2018.

Repetições	A			B		
	h (cm)	l (cm)	Θ	h (cm)	\emptyset (cm)	Θ
1	7,0	17,0	22,38°	5,2	12,0	23,43°
2	7,0	17,0	22,38°	5,0	12,0	22,61°
3	6,0	17,0	19,44°	5,2	12,0	23,43°
4	7,5	17,0	23,81°	5,0	12,0	21,03°
5	7,0	17,0	22,38°	5,0	12,0	22,61°
6	7,1	17,0	22,67°	4,9	12,0	22,21°
7	7,0	17,0	22,38°	5,1	12,0	23,03°
8	6,2	17,0	20,04°	5,0	12,0	22,61°
9	7,1	17,0	22,67°	5,0	12,0	22,61°
10	7,0	17,0	22,38°	5,0	12,0	22,61°

O equipamento pode ter grande influência, no teor de água, tamanho e forma e constituição externa do grão, consequentemente, há vários tipos de dispositivos para determinar o ângulo de repouso (CORRÊA e SILVA, 2008).

Dessa forma, para que não houvesse interferência, ambos os dispositivos tinham mesmo material na superfície de queda dos grãos, pois sua constituição era de materiais diferentes.

Em relação ao comportamento das sementes, os maiores ângulos de repouso demonstram menor escoabilidade (MEDEIROS E LANNES, 2010). Contudo, de acordo com Shittu e Lawal (2007) o sólido particulado com ângulo de repouso inferior a 35° demonstra fluxo livre.

Tabela 2 - Valores de média, variância e mediana obtidos para os equipamentos a) e b) na região norte brasileira em 2018.

	A	B
Média	22,05	22,62
Variância	1,70	0,46
Mediana	22,38	22,61

Levando em consideração que existem muitos dispositivos para auxílio na determinação do ângulo de repouso (CORRÊA e SILVA, 2008), o equipamento desenvolvido foi apto na medição do ângulo das sementes.

3.2. FORMA DAS SEMENTES

Quanto à esfericidade, os valores obtidos para as 15 sementes aleatórias, foram representados pelos valores (%) 29,70; 29,82; 35,16; 23,83; 23,18; 27,65; 30,68; 24,17; 26,68; 25,21; 17,76; 15,75; 19,11; 25,17; 25,08. Assim como no trabalho de Araujo et al. (2014) independentemente do teor de água contido nas diferentes espécies de semente, os valores foram consideravelmente inferiores a 80%, impossibilitando classificá-las como esféricas. Bem como no estudo de Nunes et al. (2014), no qual os valores estão distantes de 1,0, que indica uma esfera. Os grãos com forma esférica apresentam comportamento diferente de grãos com forma irregular ou achatada, em alguns equipamentos as sementes esféricas podem rolar mais facilmente, com maior velocidade de queda e força centrífuga (SILVA et al., 2008).

Foram utilizadas 15 sementes com valores obtidos para volume unitário, as quais também não apresentaram diferença significativa, expressos em (cm³) por 2,98; 1,24; 2,69; 3,54; 3,06; 4,15; 3,19; 3,21; 2,37; 3,99; 3,19; 4,25; 3,43; 2,87; 2,21. Os valores obtidos vão auxiliar na quantidade de sementes que um equipamento irá comportar. Além disso, houve pequenas perdas de volume durante o estudo, devido ao decréscimo do nível de água da semente. Assim, como o trabalho de Coradi et al. (2015) que demonstrou o volume como uma variável influenciada pela temperatura do ar e as condições de aceleração durante processos de secagem.

3.3 MASSA ESPECÍFICA UNITÁRIA, MASSA ESPECÍFICA APARENTE E POROSIDADE DAS SEMENTES

A massa específica real apresentou valores entre 1,06 a 1,15 g.cm⁻³ e a massa específica aparente variou de 0,48 a 0,53 g.cm⁻³, pois durante os testes o volume ocupado no recipiente foi de 60 cm³. Dessa forma, a porosidade variou de 0,53 a 0,56 em função da pequena quantidade de sementes na amostra. Que assim como no trabalho de Almeida (1979), diferiu dos valores para milho e o trigo, cuja porosidade foi decrescente em função do aumento da massa específica aparente.

4 CONCLUSÕES

- ✓ O equipamento desenvolvido apresentou potencial na medição do ângulo de repouso das sementes tendo por base o equipamento consolidado;
- ✓ Quanto à esfericidade os valores variaram entre 15,75 a 35,16%, sendo impossível classificá-las como esféricas e o volume unitário entre 1,24 a 4,25 cm³;
- ✓ A massa específica unitária variou de 1,06 a 1,15 g.cm⁻³ e a massa específica aparente de 0,48 a 0,53 g.cm⁻³. Com isso, a porosidade apresentou valores entre 0,53 a 0,56, não decrescente em função do aumento da massa específica aparente.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, V.B. 1979. p. 1-70. Determinação de propriedades físicas de amêndoas de cacau (*Theobroma cacao* L.). Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- ARAÚJO, W.D.; GONELI, A.L.; SOUZA, C.M.A.; GONÇALVES, A.A.; VILHASANTI, H.C.B. Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande - PB, v.18, n.3, p.279–286, 2014.
- BRASIL. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília– DF, p. 399, 2009.
- COSTA, A.R.; FARONI, L.R.D.; ALENCAR, E.R.; CARVALHO, M.C.S.; FERREIRA, L.G. Qualidade de grãos de milho armazenados em silos bolsa. **Revista Ciência Agrônômica**, v.41, p.200-207, 2010.
- CORADI, P.C.; HELMICH, J.C.; FERNANDES, C.H.P.; PERALTA, C.C. Propriedades físicas de grãos de girassol após secagem. **Revista de Ciências Agroambientais**. Alta Floresta - MT, v.13, n.2, p.74-77, 2015.
- CORRÊA, P.C.; RIBEIRO, D.M.; RESENDE, O.; BOTELHO, F.M. Determinação e modelagem das propriedades físicas e da contração volumétrica do trigo, durante a secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande - PB, v.10, n.3, p.665–670, 2006.
- CORRÊA, P.C.; SILVA, J.S. Estrutura, composição e propriedades dos grãos. **Secagem e Armazenagem de Grãos no Brasil**. p.19-36, 2008.
- GONELI, A.L.D.; CORRÊA, P.C.; MAGALHÃES, F.E.A.; BAPTESTINI, F.M. Contração volumétrica e forma dos frutos de mamona durante a secagem. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.33, n.1, p.1-8, 2011.
- MEDEIROS, M.L.; LANNES, S.C.S. Propriedades físicas de substitutos do cacau. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 30, p. 243-253, 2010.
- MOHSENIN, N.N. Physical properties of plant and animal materials. New York: Gordon and Breach Publishers, p.841, 1986.
- NUNES, J.A.S.; ORMOND, A.T.; CANEPPELE, C.; SILVA, S.L.S.; THOMAS, J.O.B.M. Determinação do ângulo de repouso, volume unitário, eixos ortogonais e esfericidade de trigo. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.3, n.2, p. 77-86, 2014.

REGO, A. K. C.; KATO, O. R. . Agricultura de corte e queima e alternativas agroecológicas na Amazônia. **NOVOS CADERNOS NAEA**, v. 20, p. 203-224, 2017.

SHITTU, T.A.; LAWAL, M.O. Factors affecting instant properties of powdered cocoa beverages. **Food Chemistry**, v. 100, p. 91–98, 2007.

SILVA, J.S.; PARIZZI, F.C.; SOBRINHO, J.C. Beneficiamento de grãos. Armazenagem e comercialização de grãos no Brasil. UFV, Viçosa- MG. ed. 2, p. 325-340, 2008.