

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
CAMPUS ANÁPOLIS DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
MESTRADO *STRICTO SENSU* EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**APLICAÇÃO DO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS
NA CARACTERIZAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICAS DE FEIJÃO
'BRSMG REALCE' DURANTE A SECAGEM E ESTUDO DA
QUALIDADE FÍSICA DE GRÃOS DE BICO 'BRS CRISTALINO'
ARMAZENADOS EM DIFERENTES EMBALAGENS**

Bianca Soares Pierre

ANÁPOLIS-GO
JUNHO/2019

**APLICAÇÃO DO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS
NA CARACTERIZAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICAS DE
FEIJÃO ‘BRSMG REALCE’ DURANTE A SECAGEM E
ESTUDO DA QUALIDADE FÍSICA DE GRÃOS DE BICO ‘BRS
CRISTALINO’ ARMAZENADOS EM DIFERENTES
EMBALAGENS**

BIANCA SOARES PIERRE

ORIENTADOR: PROF. DR. IVANO ALESSANDRO DEVILLA

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás – UEG, Campus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas – Henrique Santillo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola – Engenharia de Sistemas Agroindustriais, para obtenção do título de MESTRE.

ANÁPOLIS-GO

JUNHO/2019



TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO DE TESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL (BDTD)

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Estadual de Goiás a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UEG), regulamentada pela Resolução, **CsA n.1087/2019** sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

Dados do autor (a)

Nome Completo: Bianca Soares Pierre

E-mail: bianca_pierre@hotmail.com

Dados do trabalho

Título: **Aplicação do processamento digital de imagens na caracterização de propriedades físicas de feijão 'BRSMG Realce' durante a secagem e estudo da qualidade física de grãos de bico 'BRS Cristalino' armazenados em diferentes embalagens**

Tipo

() Tese (x) Dissertação

Curso/Programa: *mestrado Acadêmico em Engenharia Aquícola / PPGEA*

Concorda com a liberação documento [X] SIM

[] NÃO

Anápolis, 19/09/2019
Local Data

Bianca Soares Pierre
Assinatura do autor (a)

[Assinatura]
Assinatura do orientador (a)

Casos de impedimento:

- Período de embargo é de um ano a partir da data de defesa
- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UEG
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

PP622a Pierre, Bianca Soares
APLICAÇÃO DO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS NA
CARACTERIZAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICAS DE FEIJÃO
'BRSMG REALCE' DURANTE A SECAGEM E ESTUDO DA
QUALIDADE FÍSICA DE GRÃOS DE BICO 'BRS CRISTALINO'
ARMAZENADOS EM DIFERENTES EMBALAGENS / Bianca Soares
Pierre; orientador Ivano Alessandro Devilla. -- Anápolis, 2019.
140 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação Mestrado
Acadêmico em Engenharia Agrícola) -- Câmpus-Anápolis CET,
Universidade Estadual de Goiás, 2019.

1. Cicer arietinum L.. 2. Phaseolus vulgaris L. . 3. Teor de água. 4.
Processamento digital de imagens. 5. Papel Kraft. I. Devilla, Ivano
Alessandro, orient. II. Título.

**APLICAÇÃO DO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS NA
CARACTERIZAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICAS DE FEIJÃO “BRS MG
REALCE” DURANTE A SECAGEM E ESTUDO DA QUALIDADE FÍSICA DE
GRÃOS DE BICO ‘BRS CRISTALINO’ ARMAZENADOS EM DIFERENTES
EMBALAGENS**

Por

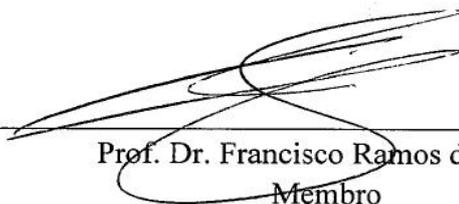
Bianca Soares Pierre

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de
MESTRA EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

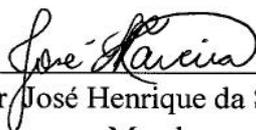
Aprovado em 24/06/2019



Prof. Dr. Ivano Alessandro Devilla
Orientador
UEG/CCET



Prof. Dr. Francisco Ramos de Melo
Membro
UEG/ CCET



Prof. Dr. José Henrique da Silva Taveira
Membro
UEG/ SANTA HELENA DE GOIÁS

À Deus
Aos meus pais

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo seu infinito amor e bondade, por me ouvir, abençoar e ajudar em cada passo da minha vida, e quando me senti desanimada, Ele renovou as minhas forças.

À minha família por todo apoio, confiança. Aos meus pais, Kemi Santana e Luiz Pierre, aos meus irmãos Priscilla e Walter e à minha avó Floraci.

Ao meu orientador professor Dr. Ivano Alessandro Devilla, por toda paciência, compreensão, conhecimento, confiança e apoio em todos os momentos.

As minhas amigas, Nayane Rosa Gomes e Fernanda Pereira Gomes que estiveram sempre presentes, as levo no meu coração.

À professora Dra. Maria Joselma de Moraes, por todo o incentivo e apoio.

Ao Lucas Barbosa Ferreira, que me ajudou imensamente em todos os trabalhos de campo, além de sua amizade. Ao professor Lucas da Costa Santos.

Ao seu Waldeir da Costa e Silva pela sua ajuda e ideias na condução do experimento.

À Eliete Fernandes, da pós-graduação, por estar sempre nos auxiliando.

Aos amigos Renato Rosa, Verediana, Carlos Eduardo, Kaio, Narumane, Sabrina, Gildo, Caroline, Lainny, Vitor, Gabriel e todos outros que me ajudaram muito nesta etapa.

Aos professores Dr. Francisco Ramos de Melo e Dr. José Henrique da Silva Taveira que colaboraram de forma excepcional na finalização deste trabalho. Aos professores do programa de Mestrado em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Goiás.

À Agência Goiana de Assistência Técnica, Extensão Rural e Pesquisa Agropecuária (EMATER-GO) pela área experimental concedida para realização do plantio das culturas.

À Universidade Estadual de Goiás (UEG) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização deste curso e à Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior - CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Muito obrigada!

“Há tanta suavidade em nada dizer e tudo se entender.”

Fernando Pessoa

SUMÁRIO

RESUMO.....	ix
ABSTRACT	xi
INTRODUÇÃO GERAL	13
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
1. FEIJÃO.....	15
1.1. Origem e Classificação botânica.....	15
1.2. Estimativas de produção.....	15
1.3. A cultura do feijão.....	16
1.4. Cultivar BRSMG Realce.....	17
1.5. Utilidades e consumo.....	17
2. SECAGEM DE GRÃOS.....	18
2.1. Contração de grãos durante a secagem.....	20
3. PROPRIEDADES FÍSICAS DOS GRÃOS COM DIFERENTES TEORES DE ÁGUA.....	21
4. PROCESSAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS.....	23
5. GRÃO DE BICO.....	25
5.1. Origem e classificação botânica.....	26
5.2. Estimativa gerais.....	28
5.3. Propriedades nutricionais e funcionais.....	28
5.4. Cultivar Cristalino.....	29
5.5. Consumo e utilidades.....	30
6. GRÃOS ARMAZENADOS.....	31
6.1. Qualidade de grãos armazenados.....	33
7. EMBALAGENS PARA GRÃOS.....	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37
CAPÍTULO 1	45
DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E DA CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA POR IMAGENS DIGITAIS DURANTE A SECAGEM DO FEIJÃO BRSMG REALCE.....	45
RESUMO.....	46
ABSTRACT	47
1. INTRODUÇÃO	48
2. MATERIAL E MÉTODOS	50
2.1. ORIGEM E COLHEITA.....	50
2.2. CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	50
2.2.1. Primeiro método: Análise de imagens digitais.....	51

2.2.2 Segundo método: Padrão por paquímetro.....	54
2.2.3. Avaliação dos métodos para obtenção das medidas dos grãos.....	54
2.2.4. Propriedades físicas analisadas.....	55
2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	58
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
3.1. EIXOS ORTOGONAIS DO FEIJÃO BRSMG REALCE.....	59
3.2. AVALIAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE DE IMAGENS.....	66
3.2.1. Eixo “a”	66
3.2.2. Eixo “b”	69
3.2.3. Eixo “c”	72
3.3. ANÁLISES FÍSICAS GERAIS.....	76
3.3.1. Esfericidade e Circularidade.....	76
3.3.2. Massa de 100 grãos.....	80
3.3.3. Massa específica aparente.....	81
3.3.4. Massa específica unitária.....	83
3.3.5. Porosidade.....	85
3.4. CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA.....	87
3.4.1. Contração volumétrica unitária.....	87
3.4.2. Contração volumétrica da massa.....	90
4. CONCLUSÕES.....	94
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
APÊNDICE.....	97
CAPÍTULO 2.....	100
QUALIDADE DE GRÃO DE BICO, BRS CRISTALINO, DURANTE O ARMAZENAMENTO EM DIFERENTES EMBALAGENS	100
RESUMO.....	101
ABSTRACT	102
1. INTRODUÇÃO	103
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	105
2.1. ORIGEM E COLHEITA.....	105
2.2. CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO	105
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	110
4. CONCLUSÕES.....	133
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	134

RESUMO

PIERRE, B.S. Aplicação do processamento digital de imagens na caracterização de propriedades físicas de feijão ‘BRSMG Realce’ durante a secagem e estudo da qualidade física de grãos de bico ‘BRS Cristalino’ armazenados em diferentes embalagens. 140p. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Goiás, Anápolis.

As modificações nas propriedades físicas dos grãos, durante a secagem, têm sido amplamente estudadas, ressaltando suas interferências no dimensionamento dos equipamentos utilizados na pós-colheita, e também durante o armazenamento com influência na qualidade. Assim, objetivou-se determinar as propriedades físicas por imagens digitais durante a secagem de grãos de feijão ‘BRSMG Realce’ e a qualidade de grãos de bico ‘BRS Cristalino’ durante o armazenamento em diferentes embalagens. As propriedades físicas dos grãos de feijão foram determinadas a partir da obtenção dos eixos ortogonais (comprimento, largura e espessura) por dois métodos de medição: paquímetro e análise de imagens digitais, com o uso de fotos realizadas na posição de repouso e horizontal dos grãos, a fim de obter os diferentes eixos, na câmera digital. Os métodos foram comparados em cada teor de água estudado: 25, 23, 21, 19, 17, 15, 13 e 11% (base úmida). O experimento foi conduzido, portanto, em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. A partir desses dados foram obtidos, pela média de 20 grãos por repetição, os valores de esfericidade, circularidade, massa unitária de grãos, porosidade e as contrações volumétrica da massa e unitária dos grãos, comparando pelo teste t de Student, as diferentes medições, em cada teor de água. Também foram determinadas durante a secagem, a massa de 100 grãos e a massa específica aparente. Na determinação da qualidade dos grãos de bico, o experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x5, sendo constituídos por duas embalagens: papel Kraft e sacos plásticos de polietileno de baixa densidade, analisadas durante cinco tempos de armazenamento: 0, 30, 60, 90 e 120 dias. O produto foi mantido em condição ambiente, para o período de outubro a março (primavera-verão). Nesse período foram determinadas as propriedades físicas: massa específica aparente e unitária, porosidade, massa de 100 grãos, variação da massa, coloração (luminosidade, ângulo hue e croma), além da compressão uniaxial dos grãos. Ambos os experimentos foram realizados no Laboratório de Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas, da Universidade Estadual de Goiás, em Anápolis-GO. O programa de análise de imagens digitais, desenvolvido para obtenção dos eixos dos grãos de feijão, apresentou resultados satisfatórios, sendo considerado pelos valores, “ótimo” para o eixo “a”, “ótimo” para o eixo “b” e para o eixo “c” entre “ótimo” e “muito bom”, na maioria dos teores de água analisados. Também, não se constatou diferenças nas médias dos dados obtidos a partir dos diferentes métodos de medição dos eixos ($P > 0,05$). Durante a secagem dos grãos de feijão, houve uma tendência linear de redução dos eixos ortogonais: comprimento, largura e espessura, assim como para esfericidade, circularidade e massa de 100 grãos ($P \leq 0,05$). No entanto, para a massa específica aparente e unitária e a porosidade, a redução do teor de água proporcionou o aumento destas. A contração volumétrica unitária ficou estimada 22,04% para a medição dos eixos por paquímetro e 28,63% por imagens digitais, nos teores de água estudados. O modelo ajustado foi o exponencial para ambas medições, já para a contração volumétrica da massa dos grãos de feijão o melhor modelo foi o polinomial para a análise de imagens e o exponencial para a medição por paquímetro, porém, resultados aceitáveis, mostram que o modelo polinomial pode ser utilizado em ambas metodologias. Assim, o método de análise de imagens digitais é viável. Já durante o tempo de armazenamento, o grão de bico foi influenciado pelas condições atmosféricas do local, alterando seu teor de água inicial e as demais análises realizadas. A embalagem de papel Kraft no período analisado, apresentou melhores resultados em relação a

embalagem plástica de polietileno de baixa densidade, com valores mais elevados de massa específica aparente, maior luminosidade e croma. A variação de massa, no entanto foi maior para o papel Kraft. A massa específica unitária e a porosidade dos grãos de bico não apresentaram diferenças em nenhum dos tratamentos avaliados. A compressão uniaxial dos grãos apresentou, um comportamento quadrático, com maior resistência ao final do período de armazenamento, independente da embalagem utilizada. Assim, a qualidade física foi influenciada pelas condições ambientes, pela embalagem e pelo período de armazenamento.

Palavras-chave: *Cicer arietinum* L. *Phaseolus vulgaris* L. Teor de água. Processamento digital de imagens. Papel Kraft. Polietileno de baixa densidade.

ABSTRACT

PIERRE, B.S. Application of digital image processing in physical properties characterization of 'BRSMG Realce' beans grains during drying and physical quality study of 'BRS Cristalino' chickpeas stored in different packages. 140p. 2019. Dissertation (Master's Degree in Agricultural Engineering) – Universidade Estadual de Goiás, Anápolis.

Changes in the physical properties of the grains during drying have been widely studied, emphasizing their interference in the design of the equipment used in the post-harvest, and also during the storage with influence on the quality. Thus, this work aimed to determine the physical properties by digital images during drying of 'BRSMG Realce' beans and the quality of 'BRS Cristalino' bean during storage in different packages. The physicals properties of bean grains have been used since the use of orthogonal axes (length, width and thickness) by two methods of use: caliper and digital image analysis, using for photos displayed in the storage position and horizontal grain, an end to get the different axes in the digital camera. The methods were compared for each water content studied: 25, 23, 21, 19, 17, 15, 13 and 11% (wet basis). Therefore, the experiment was conducted in a randomized open design with three replications. From these data were used, by the average of 20 grains per repetition, the values of sphericity, circularity, grain unit mass, porosity and volumetric contractions of mass and grain unit, comparing by the test, the different measurements, in each water content. Also used during drying were a mass of 100 grains and an apparent specific mass. Determination of chickpeas quality, or the experiment was conducted in a casual casual design, in a 2x5 factorial scheme, consisting of two packages: Kraft paper and low density polyethylene bags, analyzed during five times of use: 0, 30, 60, 90 and 120 days, with estimates every 30 days. The product was kept under environmental conditions, from October to March (spring-summer). During this period, the following characteristics were used: apparent and unit specific mass, porosity, 100 grain mass, mass variation, coloration (luminosity, hue angle and chroma), as well as uniaxial grain variation. Both experiments were carried out at the Agricultural Products Drying and Storage Laboratory at Goiás State University in Anápolis-GO. The digital image analysis program, developed to analyze the bean grain axes, presents satisfactory results, the values considered as "optimum" for axis "a", "optimum" for axis "b" and axis "C" between "great" and "very good" in most of the analyzed water contents. Furthermore, we found no differences in the media data obtained from the different methods of using the axes ($P > 0.05$). During drying of bean grains, there was a linear trend to reduce orthogonal axes: length, width and thickness, as well as sphericity, circularity and mass of 100 grains ($P \leq 0.05$). However, for an apparent and unit specific mass and porosity, a reduction in the water content provided or an increase thereof. A volumetric contraction unit was estimated at 22.04% for axle capture by digital caliper and 28.63% for digital images, in the studied water contents. The adjusted model was exponential for measurement measurements, although for a volumetric contraction of bean grain mass or the best model was polynomial for image analysis and exponential for caliper recording, however, acceptable results, which kind of polynomial model can be used in two methodologies. Thus, the method of digital image analysis is viable. Already during the storage time, the chickpeas were influenced by the atmospheric conditions of the place, changing its initial water content and the remainder realized. Kraft paper packaging in the period analyzed presents the best results compared to low density polyethylene plastic packaging, with higher values of apparent density, higher brightness and chroma. A variation in mass, however, was greater for Kraft paper. A unit specific mass and a percentage of chickpeas do not differ in the reduction factors. The uniaxial compression of the grains shown, the quadratic behavior, with

greater resistance to the end of the storage period, regardless of the packaging used. Thus, physical quality was influenced by environmental conditions, packaging and storage period.

Keywords: *Cicer arietinum* L. *Phaseolus vulgaris* L. Water content. Digital image processing. Kraft paper. Low density polyethylene.

INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é considerado um país agrícola, que vem investindo cada vez mais na expansão e produção de ‘pulses’. ‘Pulses’ é o termo designado para as leguminosas que são sementes ricas em proteínas e fibras, como o feijão, a ervilha e o grão de bico. Devido aos interesses e investimentos de outros países, na produção e exportação desses produtos, tem se investido em cultivares mais adaptadas as condições climáticas do país, e que possuam uma boa qualidade nutricional (EMBRAPA, 2016).

Entretanto, mesmo que satisfatoriamente esses grãos apresentem uma boa qualidade no campo, os processos seguintes irão influenciar a sua manutenção. Para serem comercializados, a preços mais elevados, manter, após a colheita, esses benefícios nutricionais e ainda com uma boa aceitabilidade comercial, durante o período de armazenamento, é um desafio que pode ser superado, utilizando-se de técnicas pós-colheita como a secagem e o beneficiamento.

A secagem do produto agrícola tem como objetivo reduzir o teor de água e consequentemente inativar ou diminuir as atividades biológicas, que levam à deterioração do grão, preservando assim, sua qualidade (REZENDE et al., 2010). No entanto, cada produto tem sua peculiaridade, se comportando de maneira diferente, sendo necessário na etapa de processamento, o conhecimento das suas propriedades físicas, para entendimento dos processos de transferência de calor e massa e para dimensionamento de equipamentos utilizados nos processos de pós-colheita (BOTELHO et al., 2016).

A determinação das propriedades físicas, comumente, é feita de forma manual, sendo um método de medição subjetivo, por estar mais aliado a interferência humana. Em busca de novas soluções com métodos mais rápidos, objetivos e não destrutivos, o uso da visão computacional, com o processamento digital de imagens tem sido útil. A determinação por ser esse método pode melhorar a eficiência do dimensionamento dos equipamentos utilizados, pelos benefícios citados (rápido, objetivo, não destrutivo) (GUEDES, 2010; KNOB, 2010).

No entanto, mesmo com o produto sendo corretamente beneficiado em suas distinções, as condições seguintes de armazenamento, até que sejam adquiridos pelo consumidor final, impactará na qualidade deste produto agrícola. Entre os fatores que mais influenciam o armazenamento estão o tempo e a forma de acondicionamento (ANTONELLO et al., 2009). Um produto embalado em diferentes materiais apresentará reações diferentes ao longo do tempo, devido ao seu grau de permeabilidade (FELLOWS, 2017), sendo fundamental analisar essa interferência no produto, uma vez que impacta o preço deste.

Diante do exposto, objetivou-se com o presente trabalho determinar as propriedades físicas por imagens digitais durante a secagem de grãos de feijão e a qualidade de grãos de bico durante o armazenamento em diferentes embalagens.

REVISÃO DE LITERATURA

1. FEIJÃO

1.1. Origem e classificação botânica

O feijão comum, ou *Phaseolus vulgaris* L., nome científico, é pertencente à família das leguminosas (Fabaceae) que tem como característica marcante a ocorrência do fruto do tipo legume (EMBRAPA, 2012). A palavra ‘legume’ deriva da palavra latina ‘legumen’ que significa as sementes que são colhidas em vagens (SATHE, 2016).

Há 10.000 anos surgiram os primeiros vestígios arqueológicos da espécie *Phaseolus vulgaris* (GEPTS e DEBOUCK, 1991). Não há o conhecimento da localização exata dos locais de domesticação desta cultura devido a ampla área de ocorrência dessa espécie, com diversas cultivares locais (FREITAS, 2006). Apesar das leguminosas terem sido cultivadas ao longo desse tempo, sua origem e conseqüente cronologia é quase impossível de se reconstruir (SATHE, 2016).

Ainda, segundo Freitas (2006), no Brasil, a reconstituição da história regional desta espécie, como o conhecimento de como foram introduzidas, em que época, local, e por quais grupos humanos, por exemplo, são dificultadas pela falta de estudos com amostras arqueológicas.

Os feijões são colhidos geralmente quando atingem a maturidade fisiológica, quando se apresentam mais secos. As sementes são removidas das vagens, capsulas que a envolvem, de forma manual ou mecânica e limpas para remover a sujeira, as hastes, as folhas, as sementes manchadas, enrugadas e quebradas, e embaladas antes do armazenamento. A classificação das sementes baseia-se em características externas tais como a cor e tamanho da semente (SATHE, 2016), além das internas, geralmente com o teor de água.

1.2. Estimativas gerais

A estimativa nacional, para a safra 2018/19, de área semeada com feijão foi de 941,9 mil hectares, menor 10,6%, que em relação à temporada passada. Em Goiás, Cristalina, o principal município produtor de feijão de primeira safra, apresentou uma forte redução de área nessa safra, em torno de 5 mil hectares. O motivo para essas reduções foi em decorrência dos baixos preços dos grãos no mercado e pelo estoque produzido na terceira safra de 2017/18 (CONAB, 2019).

Para o estado de Goiás, com a colheita em fase final, sinaliza-se que a produtividade média para a primeira safra será de 2100 kg há⁻¹ menor 15,9% que a anterior, pois durante o ciclo da cultura houve registros de estiagem e altas temperaturas em estádios críticos, como na fase de floração e de enchimento das vagens, para o desenvolvimento da cultura (CONAB, 2019b). O aumento dos preços no mercado para esse grão foi notável, e cerca de 95% do que foi colhido já foi comercializado pelos produtores (CONAB, 2019b).

De acordo com a CONAB (2019b) a estimativa de produtividade, em kg ha⁻¹, para o ano de 2019, incluindo o de cores, preto e caupi, nas três safras é de 982, e somente para o de cores em 1384. Para 1º safra estima-se 1.212, com o de cores com 1728, para a 2º safra 793 e 1268 para o de cores, já para a 3º safra 1062 com o de cores com 1137 kg ha⁻¹.

No Brasil, a produção de feijão-comum é realizada nas diversas regiões pelos diversos tipos de produtores e utilizando diferentes níveis tecnológicos, com consequentes produtividades diferentes. A agricultura familiar se destaca como a grande responsável pela produção no país (SILVA e WANDER, 2013).

1.3. A cultura do feijão

O feijoeiro comum é uma cultura que pode ser cultivada durante todo o ano, com três safras anuais. A primeira safra, ou “safra das águas” como é conhecida, é plantada nas regiões Sul, Sudeste Centro-Oeste, e nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Bahia, Tocantins e Rondônia, durante os meses de agosto a novembro. A “safra da seca” ou segunda safra já ocorre entre os meses de dezembro a abril, nas regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e exclusivamente nessa safra no Norte, com consorciamento do milho (BARBOSA e GONZAGA, 2012).

A terceira safra, decorre da possibilidade do uso da irrigação, devido à baixa precipitação da época. É por isso, que também é conhecida como “safra irrigada”, ou “safra de inverno”, sendo cultivada na região Centro-Sul do Brasil, nos períodos de abril a julho. Apresenta alta produtividade principalmente nos estados de Goiás, Mato Grosso, Tocantins, Espírito Santo, São Paulo, noroeste de Minas Gerais e parte do estado da Bahia, com os produtores adotando o uso da irrigação por aspersão com pivô central, e, ainda com sementes de cultivares melhoradas, se disponíveis (SILVA e WANDER, 2013).

Barroso et al. (2007), relatam que estão disponíveis inúmeras variedades comerciais que se adaptam bem às diferentes condições agroecológicas, permitindo o cultivo dessa planta, em todo o país.

1.4. Cultivar BRSMG Realce

A cultivar BRSMG Realce (Figura 1), é pertencente ao grupo comercial rajado e apresenta alto potencial produtivo, além de alto valor agregado por seus benefícios na culinária (EMBRAPA, 2011). Possui como características planta de porte ereto, vagens de cor verde com estrias vermelhas durante a maturação, sementes da cor bege com rajadas e pontuações vermelhas e, brilho da semente opaca (EMBRAPA, 2008).



FIGURA 1. Representação de grãos de feijão comum, cultivar BRSMG Realce. Fonte: EMBRAPA, 2008.

Essa cultivar é uma opção aos produtores que desejam produzir feijão de grão rajado, que possui alto valor agregado de comercialização. Além disso, apresenta alto potencial produtivo, com tolerância a antracnose, crestamento bacteriano, ferrugem, mancha angular e as murchas de fusarium e curtobacterium (patógenos que afetam o feijoeiro) (EMBRAPA, 2013).

1.5. Utilidades e consumo

O feijão é um alimento de vários povos e, um dos componentes básicos da dieta brasileira, que junto com o arroz, formam a base alimentar do país (POMPEU, 1987). Por ser encontrado em quase todos os lugares do país, em que, a preferência de um tipo (cores, preto, caupi) de feijão para outro, variam de acordo com os costumes regionais (CONAB, 2019b).

Quando os grãos já se encontram com baixo teor de água, a maioria dos nutrientes se localizam nos cotilédones e correspondem por até 90% do valor nutritivo total. Essas leguminosas apresentam duas a três vezes mais proteína dos que os cereais (SATHE, 2016),

sendo que, seu teor proteico alcança os 33%, com um valor energético de 341 calorias a cada 100 gramas (POMPEU, 1987).

O feijão, nos países em desenvolvimento e subdesenvolvidos, pode ser utilizado na culinária de inúmeras maneiras, dependendo dos costumes e do tipo de feijão. São consumidos como sementes cruas, ainda imaturos, cozidos como legumes verdes (feijão francês), como parte de saladas, caldos, sopas, cozidos, triturados e misturados em condimentos e especiarias, como para feijoada, feijão tropeiro, e atualmente com a ênfase em alimentos vegetarianos, podem ser mais explorados para serem incorporados, com o uso de alimentos melhorados e nutritivos (SATHE, 2016).

Essa leguminosa, é um grão importante a nível mundial para ser aproveitado tanto para a alimentação humana como para a alimentação animal. Entre os fatores que influenciam tanto a produção, como a utilização, estão a cor e o tamanho das sementes, determinados pela cultivar e pelo ambiente (BARROSO et al., 2007)

2. SECAGEM DE GRÃOS

O processamento do feijão comum, assim como outros commodities de grãos, se inicia logo após a colheita, para manter e conservar a qualidade do produto aos comerciantes, distribuidores, processadores e consumidores finais. As tecnologias que envolvem a pós-colheita de grãos são essenciais para atender os requisitos mínimos de qualidade exigidos para grãos a nível nacional e global (BEEBE et al., 2012). Segundo Campos-Vega et al. (2018), o beneficiamento do grão, na pós-colheita é indispensável para agregar valor e aprimorar a utilização do feijão seco.

O produto agrícola deve ser colhido antecipadamente, após atingir a maturidade fisiológica, ainda quando apresenta elevado teor de água, para minimizar as perdas no campo ocasionadas pelo ataque de insetos e microrganismos (ARAUJO et al., 2014), pois a medida que avança o tempo pós-maturação, os grãos irão perder resistência (ELIAS et al., 2002). Com isso, os grãos deverão passar por um processo, para perder esse teor elevado de água, que comumente é conhecido como secagem artificial.

Os principais objetivos da secagem, de acordo com Biagi et al. (2002), é conservar e preservar, por longos períodos, as qualidades nutricionais e sensoriais dos grãos, desenvolvidas durante a fase de campo. Razera (1975), explica que a função da secagem dos grãos é a retirada do excesso de água, até atingir níveis adequados, que possam permitir que os objetivos de manter a qualidade, apresente bom desempenho.

Resende et al. (2010) explicam que na secagem a atividade de microrganismos, enzimas e todos os mecanismos metabólicos reduzem ou inativam suas atividades, fazendo com que o produto se conserve. Para grãos de feijão Siddiq e Uebersax (2012), recomendam que o teor de água para o armazenamento deve se encontrar de 12 a 16% (base úmida), com os grãos atingidos a maturidade fisiológica, com tamanho uniforme, e livre de impurezas (materiais estranhos e defeitos de revestimento de sementes).

Para alguns países produtores de feijão, como Brasil, México e Índia, há legislações federal e/ou estadual específica para a qualidade do feijão, para garantir ao longo do período de armazenamento, segurança e preservação dos grãos. Para sementes, a secagem não deve ser praticada com temperaturas elevadas, maiores que 40 °C (CAMPOS-VEGA et al., 2018).

Brooker et al. (1981) expõem que a secagem pode ser realizada por diferentes métodos, sendo eles classificados em naturais ou artificiais. O método de secagem natural é aquele que não há a interferência do homem e ocorre na própria planta, no campo, por agentes como o Sol e o vento. Com relação a secagem artificial, este apresenta a secagem artificial com ventilação natural ou forçada. A secagem com ventilação natural, é quando o produto é exposto em terreiros, peneiras, eiras ou bandejas. Nesses casos, parte da água será removida por evaporação, usando energia solar e eólica.

A secagem com ventilação forçada, para Peske (1991) é um método que se caracteriza pela possibilidade de controle e modificação dos parâmetros: temperatura e fluxo do ar de secagem. Nesse tipo de secagem, Maia (1995) expõe que as sementes e grãos úmidos são submetidos à ação de uma corrente de ar que atravessa a massa, por estruturas especiais que irão possibilitar a secagem de maiores volumes, em um espaço de tempo menor e independente das condições climáticas, com o auxílio de equipamentos industriais.

No entanto, deve-se estar atento a escolha da temperatura e fluxo de ar de secagem. O uso de altas temperaturas e grandes fluxos de ar apesar de proporcionar uma secagem rápida, acabam gerando tensões internas, que prejudicam a qualidade dos grãos. Essas tensões, resultado de um gradiente de água muito elevado entre a superfície do grão e o interior deste, causam trincamentos que podem vir a quebrar o produto e prejudicar a qualidade dos grãos, principalmente por ficarem mais vulneráveis (PORTELLA e EICHELBERGER, 2001).

Araújo (2013), relata que esse gradiente no processo de secagem é fundamental, em menores intensidades, para que sirvam de força motriz para a ocorrência do fluxo de massa de água para o ar de secagem. Aumentar a temperatura do ar de secagem provoca diferenças maiores entre a pressão parcial de vapor de água no produto e a pressão parcial de vapor de água do ar secante, favorecendo a redução do excesso de água do grão, e demandando gasto de

energia térmica para a evaporação da água. Assim, ao evaporar, irá resfriar o ar de secagem pela perda de calor sensível e recuperar o ar na forma de calor latente (vapor de água).

Dessa forma, a secagem em baixas temperaturas é um processo mais lento, podendo demandar semanas e meses, em determinados casos, pelas condições psicrométricas do ar, comprometendo todo o processo de produção (QUEIROZ e PEREIRA, 2001).

Com a estabilidade do alimento garantida durante o armazenamento, pela secagem do produto, devido à redução da atividade de água, este pode ser comercializado. Entretanto, com a demanda atual de produtos com alta qualidade no mercado, ou seja, com as propriedades nutricionais e organolépticas do produto fresco inicial, conhecer os fatores responsáveis pela diminuição da qualidade do produto, durante o processo de secagem é, portanto, de grande relevância (MAYOR e SERENO, 2004).

Para os produtos agrícolas, a secagem é uma das etapas mais importantes na fase pós-colheita. Sendo assim, conhecer o comportamento das propriedades físicas dos grãos, torna-se imprescindível (ARAUJO et al., 2014).

2.1. Contração de grãos durante a secagem

Uma das mais importantes mudanças físicas que ocorrem nos alimentos, durante a secagem, é a redução de seu volume externo. A perda de água, devido ao aquecimento, causa mudanças na estrutura celular do produto, levando este a mudar de forma diminuindo sua dimensão. Outra consequência derivada desse processo é o encolhimento, que reduz a capacidade de reidratação do produto seco (MAYOR e SERENO, 2004).

Ademais, Mayor e Sereno (2004) explicam que, quando a água é removida do material, ocorre um desequilíbrio de pressão produzido entre o interior do produto e a pressão externa, gerando as tensões, já citadas, que levam ao encolhimento do material ou colapso, alterando a forma, e ocasionando as vezes, a fratura deste. Por muito tempo, essa contração do material foi considerada insignificante na modelagem da secagem, tornando os modelos mais fáceis de serem resolvidos.

De acordo com Afonso Junior et al. (2004), alterações volumétricas relacionadas com o tempo de secagem, atuam juntos nos produtos, dinamicamente, e o fenômeno de contração volumétrica é mais bem compreendido quando as variáveis são relacionadas.

Diante da importância do índice de contração volumétrica para a etapa pós-colheita, Smaniotto et al. (2015), com o objetivo de identificar o melhor modelo matemático que representasse o fenômeno da contração volumétrica unitária e da massa dos grãos de soja

submetidos à secagem em duas temperaturas, definiu que o modelo linear simples é capaz de descrever com eficácia a contração volumétrica unitária e da massa dos grãos de soja nas temperaturas de 50 e 90 °C.

Segundo Resende et al. (2006), a redução do teor de água, durante a secagem, dos produtos agrícolas influencia diretamente as propriedades físicas, reduzindo também o volume do produto, processo que é denominado como contração volumétrica. A contração é um índice que pode ser obtido pela relação entre o volume para diferentes teores de água, durante a secagem do produto, pelo volume inicial deste. É uma informação importante, pois auxilia na determinação do comportamento dos produtos agrícolas, conforme a redução de seu teor de água.

Koua et al. (2019) estudando o encolhimento de grãos de cacau, durante a secagem, expressos em termos de diâmetro verificou que o volume de água removido foi maior que a redução do volume de grãos de cacau.

Para grãos de amendoim, e grande parte dos produtos agrícolas, o processo de dessorção colabora para que as dimensões características do produto sejam reduzidas, evidenciando, assim, o encolhimento destes (ARAUJO et al., 2014b).

3. PROPRIEDADES FÍSICAS DOS GRÃOS COM DIFERENTES TEORES DE ÁGUA

Quando o teor de água é reduzido pelo processo de secagem, normalmente, acontece alterações das características físicas do produto. Avaliar essas propriedades físicas está estreitamente relacionada a avaliação de qualidade física, por meio do processo de classificação (BOTELHO et al., 2016).

Para a separação das sementes das impurezas, materiais estranhos, por equipamentos utilizados no processo industrial como as peneiras, deve-se conhecer o tamanho das sementes. As medidas comumente usadas para definição do tamanho são comprimento, largura, espessura e diâmetro equivalente (AUGUSTO et al., 2015).

A característica física dos grãos que normalmente sofre maior variação, durante a secagem, é o volume dos produtos, proporcionando redução no seu tamanho ou até mesmo na sua forma geométrica. São essas características que definem o tamanho e a forma dos furos das peneiras utilizadas no processo pós-colheita de beneficiamento (ARAUJO, 2014).

A forma é importante para cálculos de transferência de calor e massa, triagem de sólidos para separar as impurezas, e serve para determinar a qualidade dos materiais alimentares. A forma de um produto agrícola pode ser expressa em termos de esfericidade e circularidade (AUGUSTO et al., 2015). A forma e o tamanho dos grãos também irão influenciar na resistência aerodinâmica da massa durante o processo de aeração, comumente aplicado durante o armazenamento (KHATCHATOURIAN e SAVICKI, 2004).

O produto agrícola, seja ele sementes, grãos, frutas ou vegetais, apresenta formas que são irregulares, que, em geral, se assemelham a alguns objetos de geometria regular, usando as características de estimação da área de superfície. Para isso, três medidas ao longo dos três eixos mutuamente perpendiculares, conhecimentos como comprimento, largura e espessura, são usados para especificar a forma do material (KUMAR e MATHEW, 2003).

A correta determinação de forma e tamanho é importante no beneficiamento de sementes, pois estas são separadas em função de suas características, que são uteis nas regulagens de semeadoras, para evitar danos mecânicos e distribuir de forma e quantidade adequadas (AGUILERA et al. 2000).

Assim, a forma e o tamanho dos grãos são definidos pela circularidade e esfericidade. Essas determinações também são importantes no dimensionamento do tamanho da malha das peneiras em equipamentos destinados à separação e classificação de grãos e sementes (SILVA et al., 1995).

A relação de circularidade, que relaciona os eixos ortogonais do grão, largura e comprimento, é um indicativo da tendência do grão em apresentar a forma oblonga (OMOBUWAJO et al., 1999). A circularidade é definida como um fator de forma que é expressa em termos adimensionais compreendidos na faixa definida entre 0 (zero) e 1 (um). Quanto mais perto de 1 este valor estiver, mais próximo da forma de um círculo estará o grão, como exemplo a soja. Para valores que vão se distanciando, o grão tende a ficar mais alongado e se aproxima da forma elíptica (APPEL et al., 2003; SHAHIN e SYMONS, 2005).

Outras características físicas de grande relevância para os produtos agrícolas são a massa específica aparente e a massa específica unitária. A partir dessas informações de massa, as unidades beneficiadoras irão poder dimensionar o silo, calcular os transportadores, separadores e classificadores de grãos e semente. No entanto, é primordial conhecer os fatores que afetam a massa específica dos materiais vegetais, entre elas, principalmente, se encontra o teor de água do produto (ARAUJO, 2014).

Koua et al. (2019), estudando os efeitos da secagem de grãos de cacau, observaram que, a massa específica diminuiu a medida que o teor de água foi reduzido. A massa específica

aparente se encontrava em um valor médio de $825,10 \text{ kg m}^{-3}$, no teor de água de 1,22 expresso em base seca, e com a variação do teor de água para 0,74 decimal, base seca (b.s.), situou-se em $695,25 \text{ kg m}^{-3}$. A massa específica unitária também se reduziu com a redução do teor de água. Essa variação é explicada pela maior diminuição da massa dos grãos do que seu volume diminuído, quando se esperava ter aumentado essas relações, como acontece para a maioria dos produtos agrícolas. Esse autor também verificou que a porosidade aumentou com a diminuição do teor de água.

A porosidade intergranular é entendida como a quantidade de volume total ocupada pelo ar em massa de grãos. Esses “espaços vazios” dependem do tamanho e da forma do material, assim como de suas características de superfície. Massas de produto com superfície lisa apresentam menos espaços vazios do que uma massa de grãos com superfície rugosa (ARAUJO, 2014).

Biaggioni et al. (2005), estudando a queda de pressão estática em uma coluna de noz macadâmia verificaram que, apesar da porosidade permitir que o ar atravessasse pela massa de grãos, nos “espaços vazios”, o tamanho e a forma dos grãos também controlaram a resistência à passagem do ar, que aumenta com a diminuição do grão, com o aumento da densidade do ar, a profundidade do leito e a quantidade de materiais estranhos.

Embora citou-se alguns produtos agrícolas e seus comportamentos nem todos irão apresentar essa mesma relação. Cada produto apresenta uma particularidade, não só em relação às suas características físicas, porém também em relação a sua composição química, tornando seu comportamento único quando ocorre o processo de dessecção. Portanto, entender e obter informações a respeito desta singularidade são de suma importância, tanto para auxiliar no processamento pós-colheita, como para fornecer um conjunto de dados aos engenheiros e projetistas, que poderão a partir de então, elaborar máquinas, estruturas, processos de controle com melhor eficiência de um equipamento ou operação, minimizando os custos de produção e mantendo a qualidade do produto (GONELI et al., 2011; ARAUJO, 2014).

4. PROCESSAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS

As primeiras aplicações, com o uso de imagens, ocorreram na década de 20, com o melhoramento das imagens digitalizadas para jornais, que foram enviadas de Londres para Nova York, por meio de um cabo submarino. Continuando nas décadas seguintes, novos melhoramentos foram realizados por métodos de processamento para transmissão de figuras, principalmente, devido ao surgimento de computadores de grande porte combinados com o

programa espacial (KNOB, 2010). A partir de então, foram surgindo novos conceitos de visão computacional.

O processo de imagens, de maneira geral, envolve algumas etapas necessárias como a aquisição de imagens e armazenamento, tratamento da imagem, destacando alguns aspectos, alterando brilho, realce, seguido da análise da imagem, interpretando, coletando amostra de pixels, e posteriormente sua classificação e análise de resultados (GALLON, 2012).

A imagem digital de acordo com Marques Filho e Vieira Neto (1999), é o resultado do estímulo luminoso captado pelo olho humano, em que cada ponto da cena, é representado matematicamente por uma função $f(x,y)$ para imagens bidimensionais, e $f(x,y,z)$ para tridimensionais, sendo x , y , e z coordenadas da figura, em que está associado uma informação de cor. A unidade de medida das imagens, segundo alguns autores como Gonzales e Woods (2003), denomina “pixels”, do inglês “pictures elements” elementos formadores da imagem.

Nas imagens, o pixel é o elemento básico. Um pixel é o menor ponto que forma uma imagem digital. É constituído por sensores, formando um agrupamento de milhares ou milhões de minúsculos sensores, que quando são atingidos pelos raios de luzes registram a tonalidade de cor que o atingiu. Assim, por meio de softwares, os pequenos pedacinhos de imagens são integrados para formar a imagem final. A quantidade de pixels em uma imagem representa a quantidade de sensores que existem no equipamento de captura, ou seja, quanto mais pixels, melhor será a resolução e qualidade da imagem (PINTRO, 2008).

Assim, a resolução de uma imagem é medida pelos números de valores digitais, que são utilizados para expressar os dados coletados. Quando uma imagem obtida por máquina fotográfica digital ou câmera de vídeo, como webcam, irá apresentar resolução radiométrica de 8 bits, o que indica que cada pixel da imagem é representado por um valor digital que se situa entre 0 e 255 (FERREIRA et al., 2001).

Obtidas as imagens digitais e entendido como elas se constituem, duas etapas para o processamento das imagens devem ser atentas: pré-processamento e segmentação (HAMUDA et al., 2016). Essas etapas, para Onwude et al. (2018), têm por objetivo melhorar a imagem, ajustando o contraste para constituir a variabilidade de luminância, conversão de cor, filtragem e remoção de fundo dos objetos.

Guedes (2010), expõe que o maior problema no processamento ocorre na segmentação de uma imagem, para separar o plano de fundo do objeto principal de estudo, estabelecendo os limites de contorno de onde se extrai as principais informações. Park et al. (2009) relatam que o processo de segmentação desmembra a imagem digital em regiões. É um passo estritamente essencial na visão computacional para reconhecer padrões fundamentais na análise de imagens,

e extrair os dados, que serão dependentes da precisão dessa operação. Assim, uma segmentação ruim causará degradação no processo de medição e conseqüentemente, maiores erros na interpretação de valores.

Com o pré-processamento realizado de maneira eficiente, como com o realce de contrastes e remoção de ruídos, a melhoria das imagens é constatada, e as outras etapas seguintes terão mais chances de sucesso (GONZALEZ e WOODS, 2000).

Após essa etapa, se realiza o processo de binarização, deixando a imagem com apenas duas cores. A imagem que antes possuía todas as infinitudes de cores presentes visualmente, transformadas em níveis de cinza, em uma variação de apenas 256 níveis, passa agora a ter somente dois níveis: zero e um, ou seja, preto e branco (FERREIRA et al., 2001).

Ferreira et al. (2001), dizem ainda que, quando a imagem passa a ter apenas 256 níveis de cinza, os processadores de imagens, que são os softwares desenvolvidos para o tratamento destas no formato digital, permitem que sejam realizadas novas operações como o tratamento no domínio da imagem ou da frequência para realçar certos objetos ou áreas da imagem, classificações, e até obter a estatística dos pixels. Dessa forma, o processamento digital de imagens é um processo de manipulação de dados em meio computacional, em que o material o material de entrada e saída do sistema é uma imagem.

Yadollahinia et al. (2009), aplicando o processamento digital de imagens em fatias de batatas, durante a secagem, averiguarem, o encolhimento por esse método testado, com sucesso. Esses autores usaram as dimensões dos pixels de uma imagem, já calibrada com as dimensões reais, para determinar essa contração. Primeiro removeram o fundo do objeto principal, a batata, e extraíram em planilhas os dados de medição verificando o efeito do encolhimento da dimensão ou não, de forma efetiva.

Em outros estudos, também durante a secagem, com uso de imagens, Onwude et al. (2018) aplicando técnicas combinadas de imagens em batata doce, baseada na visão do computador e nos parâmetros de retroespalhamento (reflexão de ondas) concluíram que este é um método viável para uma monitorização rápida e não destrutiva, para a medição das mudanças de cor, de forma automática.

Guedes (2010), durante a secagem, de grãos de feijão, nos teores de água de 19,52 a 12,32%, estudou diferentes métodos de determinação de tamanho por imagens digitais: paquímetro, projetor e scanner. Ele expõe que o método por Scanner apresenta maior coeficiente de variação com 8,30%, e os maiores desvios padrões do que na medição por projetor e por paquímetro. Assim, o equipamento de obtenção das imagens deve ser analisado, pois afeta a qualidade da imagem.

Paredes-Orta et al. (2019), focaram em uma nova metodologia de processamento de imagens, com imagens de má qualidade, para determinação exata do grão. Eles abordam que para alcançar esse resultado, deve existir uma boa segmentação na imagem para detectar um conjunto de marcadores das regiões de interesse, por meio de um processo de filtração, para remoção de regiões consideradas desprezíveis.

Kuo et al. (2016), com a intenção de distinguir de forma não destrutiva, grãos de arroz de 30 variedades, desenvolveram um sistema de aquisição de imagens por câmera digital acoplada a um microscópico, e difundiu a imagem por microscopia de varredura, obtendo assim, imagens dos grãos, que foram eficazes pela análise de imagens, para distinguir as variedades analisadas.

Portanto, além do tamanho de grãos, a análise de imagens digitais, auxilia em outras seleções pelas diferentes características que as sementes têm, que incluem cor, textura, e tamanho médio (SANKARAN et al., 2016).

Lopez-Granados (2011), relata que a utilização do processamento digital de imagens é um investimento eficiente, porém necessita de capacitação técnica, padronização de normas, aumento das pesquisas e formação de grupos multidisciplinares, para aplicação de novas tecnologias.

A técnica de processamento de imagem mostra-se assim um método rápido e preciso para a determinação de medições, como o tamanho e forma dos grãos. Desse modo, quando se trata do tamanho de grãos, a análise de imagens apresenta maiores benefícios do que em relação às técnicas de peneiração, uma vez que, o método de peneiramento exige a pesagem das amostras que permanecem no topo de cada tela e muitas vezes dependem de agitação manual, que podem ser incompatíveis entre amostras. Assim, os processadores podem beneficiar e adotar o uso de imagens para determinar a distribuição de tamanhos de sementes dentro de uma amostra comercial (SANKARAN et al., 2016).

5. GRÃO DE BICO

5.1. Origem e classificação botânica

Cicer arietinum L., nome científico do grão de bico, pertence à família das leguminosas, a Fabaceae (MOLINA, 2010). A família das leguminosas possuem grãos com uma ampla distribuição geográfica, que apresentam como característica típica a presença das sementes dentro de vagens. Além de ser constituída por 430 gêneros e cerca de 12600 espécies, essa

família encontra-se dividida em três subfamílias, sendo a Faboideae a mais importante do ponto de vista econômico. Nesta subfamília encontra-se o grão de bico, como também a ervilha e o feijão, interessantes por seus conteúdos proteicos (BARROSO et al., 2007).

O grão de bico tem sua origem na região sudeste da Turquia, nas proximidades da Síria, onde foi levado e difundido na Índia e países da Europa. Já no Brasil, foi introduzido por imigrantes espanhóis e do Oriente, com produções ainda incipientes (NASCIMENTO et al., 1998).

Por ser encontrado em diversos locais do mundo, o grão de bico apresenta outras denominações como “chickpea” para a língua inglesa, “homme” e “hamaz” para os árabes, “garbanzo” para a América Espanhola, “nohud” e “labladi” para os turcos e “shimbra” na Etiópia (SIMONI, 2017).

Segundo o tamanho da semente, o grão de bico pode ser encaixado em dois grupos: macrocarpa ou kabuli e microcarpa ou desi. Para o grupo kabuli, frequentemente encontrado no Mediterrâneo, as sementes são grandes, com formato arredondada e coloração creme. As plantas desse grupo são de tamanho médio, com flores brancas e os folíolos grandes de 10 a 20 mm, com as vagens contendo de uma a duas sementes. Com relação ao grupo desi, cultivado na Etiópia e parte do Irã e Afeganistão, as sementes são menores, de formato anguloso irregular e tegumento de coloração escura variada. As plantas são pequenas, prostadas e maioria delas contem antocianina nos tecidos, apresentando flores de cor violeta, com folíolos (as subdivisões) pequenos de 6 a 9 mm e vagens com duas a três sementes. Grande parte da produção mundial desses grãos é do tipo desi (NASCIMENTO et al., 1998; GAUR et al., 2010).

O ciclo da cultura geralmente é dividido em cinco fases, sendo: a primeira da emergência até o início da floração; a segunda da floração até o início da formação de grão; a terceira até o fim da formação dos grãos; a quarta da formação final até a maturidade fisiológica e; a quinta da maturidade fisiológica até a colheita (YADAV et al., 2006).

Após a colheita, três tipos de formato na semente podem ser observados: angular, com formato bicado; arredondado, formato da cabeça de coruja e; arredondado com formato da semente de ervilha. Sua superfície é influenciada pelo grupo a que pertence, se for desi será enrugada ou áspera, já para kabuli terá como característica a semente com superfície lisa ou ligeiramente enrugada (GAUR et al., 2010).

Quando semeadas, possuem germinação do tipo hipógea, ou seja, os cotilédones permanecem sob o solo. A emergência das plantas ocorrerá entre 7 e 15 dias após semear, a depender da temperatura e profundidade do solo (SINGH e DIWARK, 1995).

A planta do grão de bico possui ciclo anual, é herbácea, diploide ($2n=16$), com porte ereto ou rasteiro. As plantas são autógamas, portanto, ocorre autofecundação das anteras agrupadas acima do estigma, antes da abertura floral. Já a altura pode variar de 25 a 70 cm, em média (SHARMA, 1984).

5.2. Estimativa de produção

O grão de bico apresenta um cultivo em menor extensão quando comparadas a outras leguminosas, por sua utilização na alimentação humana ser ainda muito pequena, principalmente devido à questão cultural e hábitos alimentares (MOLINA, 2010).

Atualmente, esse grão possui um papel muito importante na agricultura se encontrando no terceiro lugar, no ranking mundial de 'pulses' (sementes de leguminosas), perdendo somente para o feijão e a ervilha. Têm-se verificado melhorias na produtividade global, sem verificar aumento de áreas semeadas (SIDDIQUE, 2016).

Ainda, de acordo com Siddique (2016), a produção mundial de grão de bico, no ano de 2010, foi de 10,9 milhões de toneladas, em uma área de 12 milhões de hectares. Com o passar dos anos, a produção anual, segundo Nascimento et al. (2017), para o ano de 2017 ficou em torno de 15 milhões de toneladas, um avanço de 27,33% na produção, em 7 anos.

De forma tradicional, o grão de bico é produzido na Índia, Irã, Bangladesh, Paquistão, México e Etiópia. A Índia é o maior produtor e consumidor, assim grande parte do que é produzido nesse país é consumido localmente, além de importar esse produto. Os principais exportadores são Austrália, Turquia, Canadá e México com os principais mercados na Índia, Estados Unidos, Paquistão, Bangladesh, e parte da Europa, Oriente Médio e os antigos países da União Soviética (SIDDIQUE, 2016).

No Brasil, a produção de grão de bico é praticamente inexistente, abrangendo apenas o cultivo em algumas estações experimentais agronômicas, como a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, e alguns cultivos familiares. Dessa forma, não são apresentadas estatísticas nacionais de produtividade, uma vez que grande parte do consumo no país provém de importações do México e Argentina (NASCIMENTO et al., 1998). Hoje, o país cerca de 8000 toneladas anualmente, e apresenta pequena área comercial da cultura (NASCIMENTO et al., 2017).

Correa (1984), relata que o plantio do grão de bico no Brasil, ocorreu, de acordo com os primeiros relatos, na época da primeira guerra mundial, nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, com cultivares provindas da Europa. Anteriormente, outras tentativas também foram realizadas, contudo não existira no país registros de produção em áreas comerciais.

De acordo com Braga et al. (1992), a primeira cultivar lançada no Brasil, ocorreu no estado de São Paulo com a “IAC Marrocos”, do Marrocos, introduzida em 1964, pelo Instituto Agrônômico de Campinas (IAC), lançada no ano de 1989. A massa média dos grãos para essa cultivar está na média de 26 gramas a cada 100 unidades, com a planta possuindo um ciclo de vida de 125 a 140 dias.

5.3. Propriedades nutricionais e funcionais

Na alimentação, as sementes das leguminosas contem cerca de 20 a 30% de proteína, excetuando a soja com o teor de proteína em torno de 40% (SINGH et al., 1992). O grão de bico, sendo uma leguminosa, possui alto teor de proteína. Os grãos possuem cerca de 20% de proteína, 5% de gordura e 55% de carboidratos. Por ser uma proteaginoso desempenha um papel importante na alimentação humana, atuando como suplemento das necessidades em proteína, uma fonte de nutriente presente na dieta de muitos povos (BARROSO et al., 2007).

Os grãos de bico são ainda uma ótima fonte de minerais como fósforo, magnésio, ferro, potássio, cobalto e manganês, e vitaminas do complexo B (NASCIMENTO et al., 1998). Entretanto nos grãos de bico há elevados teores de fatores antinutricionais, que dificultam a absorção de alguns minerais, proteínas e vitaminas no organismo humano. Contudo, como normalmente esse alimento não é consumido cru (geralmente é cozido), não há preocupação para esses fatores, uma vez que um tratamento térmico irá provocar a inativação ou redução desses (FERREIRA et al., 2006).

O consumo desse grão fornece energias diferentes a depender do tipo e cultivar. Os níveis de energia/caloria para grãos do tipo kabuli varia de 357 a 446 Kcal a cada 100 gramas, enquanto que o tipo desi com valores de 334 a 437 Kcal a 100 gramas, quando cultivadas nas mesmas condições (WOOD e GRUSAK, 2007).

5.4. Cultivar Cristalino

A planta dessa cultivar, Figura 2, apresenta um ciclo precoce com 120 dias, da emergência à maturação, arquitetura semiereta, altura média de 84 centímetros, com 3 a 4 ramificações, folhas alternas, flores brancas (sem pigmentação de antocianina), vagens infladas com uma a duas sementes em média, sementes de formato angular na cor creme, apresentando entre 8 e 9,5 milímetros (mm), a raiz tem sistema radicular robusto, a pubescência da planta é densamente coberta por pelos glandulares. O potencial de rendimento dessa cultivar em áreas irrigadas alcança até 3000 kg ha⁻¹ (NASCIMENTO et al., 2017).

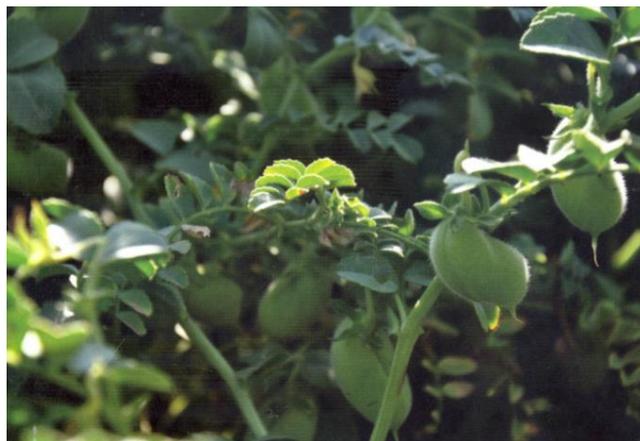


FIGURA 2. Planta de grão de bico, cultivar “BRS Cristalino”, na fase de formação dos grãos.
Fonte: Nascimento et al., 2017.

A arquitetura da planta, já citada, da cultivar BRS Cristalino, permite que sua colheita seja realizada mecanicamente. É uma cultivar do grupo kabuli que se caracteriza com sementes maiores, arredondadas e de coloração creme. Tem como principal característica a sua adaptação ao cultivo em áreas irrigadas do Planalto Central e seus elevados níveis de produtividade (média de 3000 kg ha⁻¹) (NASCIMENTO et al., 2017).

Esta cultivar é indicada para cultivo na estação seca, por isso deve ser semeada no período de abril a maio na região do cerrado do Distrito Federal e em Goiás, para altitudes superiores a 600 metros, onde estudos avaliaram ser melhor recomendada, em áreas sob cultivo irrigado (NASCIMENTO et al., 2017).

5.5. Consumo e utilidades

O grão de bico na alimentação brasileira, apesar de ter boa aceitação e possuir elevado valor nutricional, não é muito consumido no país devido ao alto preço que se faz preciso para atender o mercado interno (SIMONI, 2017).

Na comercialização, o grão de bico pode ser encontrado *in natura*, em conversas, embalados a vácuo, ou quando aplicados na formulação de produtos de panificação, de laticínios, de carne e alimentos infantis para crianças desnutridas e afetadas por doenças (RAVI e BHATTACHARYA, 2004).

O consumo desse grão *in natura* normalmente dá-se misturado a outros alimentos como hortaliças, carnes, molhos e condimentos. Já os grãos descascados e triturados são utilizados para fazer sopas, pastas ou sobremesas. Já a farinha obtida a partir desses grãos pode ser usada como ingrediente para a fabricação de pães e bolos (NASCIMENTO et al., 1998).

6. GRÃOS ARMAZENADOS

A produção de alimentos, desde dos tempos mais antigos, sempre foi importante em qualquer sociedade. Todos os processos desde da produção, transporte, beneficiamento, armazenagem, comercialização e consumo são dependentes do armazenamento, que irá garantir que a atividade do produtor rural seja efetuada com sucesso (WEBER, 2005).

Desde a antiguidade, o processo de armazenar alimentos vêm sendo utilizado pra evitar a falta de alimentos, devido à sazonalidade dos cultivos, que são impostas pelas limitações climáticas e/ou o tempo de desenvolvimento das culturas. Por isso, se utiliza algumas técnicas pós-colheita para conservar os produtos agrícolas por um maior tempo possível (GOERGEN, 2010).

Oliveira et al. (2016), relembram que, as técnicas aplicadas na pós-colheita não irão melhorar a qualidade final dos produtos, mas sim diminuir os processos fisiológicos que degradam as qualidades físicas e sensoriais, garantindo o tempo de armazenamento e consequente comercialização dos produtos conservados, seja maior.

Os grãos, assim como outros produtos, não irão melhorar a sua qualidade durante o armazenamento, portanto é fundamental que os obtenha com a melhor qualidade inicial possível. Brooker et al. (1982), relatam que grãos colhidos inadequadamente, ou seja, imaturos, podres, contaminados por insetos e pragas, dentre outros, mesmo que armazenados em boas condições, serão de baixa qualidade.

Dessa forma, o principal objetivo do armazenamento de grãos é preservar as características que estes apresentaram após a colheita, mantendo sua qualidade original e propriedades nutritivas por um período mais longo possível (BROOKER et al., 1992; GOERGEN, 2010). O teor de água e a condições ambientes do ar são variáveis que determinam as mudanças de qualidade durante o armazenamento (BROOKER et al., 1982).

Assim quando as sementes atingem a maturidade fisiológica no campo, estas devem ser colhidas e adequadamente secas, para reduzir a respiração e superaquecimento da massa de grãos pelo teor de água mais elevado que, propicia o crescimento fúngico. Altas temperaturas, alto teor de água durante o transporte, processamento e armazenamento, afetam negativamente a qualidade das sementes e o subsequente vida útil do produto (COLVILLE, 2017).

Além disso, para Peske e Villela (2003), grãos colhidos mais tardiamente, por atrasos na colheita, possuem uma qualidade inferior, pois estão mais degradados e acabam

por entrar em equilíbrio com a umidade relativa do ar, muitas vezes com teor de água elevado.

Em geral, as sementes de leguminosas destinadas a alimentação humana são expostas ao um longo período de armazenamento. Durante este tempo, ocorrem importantes alterações físico-químicas e biológicas que devem ser determinadas para estipular a vida útil do produto. Em todos os casos, as alterações são provocadas pelo teor de água das sementes, pelas condições atmosféricas, e pelos microrganismos envolvidos (HALL, 1980).

Hou e Chang (2004) denotam que a soja pode ser armazenada, após a colheita e beneficiamento, durante o período de um ano ou mais. Nesse período, as características físicas e bioquímicas da soja podem mudar, dependendo do teor de água inicial, das condições de transporte e das condições ambientais de armazenamento, que incluem umidade relativa e temperatura do ar. Ekechukwua e Norton (1999), expõe ainda, que, mesmo na ausência de pragas e insetos durante o armazenamento, o que irá causar à deterioração de sementes e perda de vigor, são as condições de armazenamento precárias.

Dentre os sistemas de armazenamento, se encontra o hermético, que impede trocas de gás com o ambiente externo, estabilizando a atmosfera interna e conseqüentemente o teor de água dos produtos (SCARIOT et al., 2018). Já no sistema convencional, onde há influência das condições atmosféricas do local de armazenagem, o teor de água apresenta movimentos oscilatórios (BEZERRA et al., 2015).

Para grãos de bico, recomenda-se que o produto seja seco até o teor de 13%, passando por procedimentos mínimos de beneficiamento, para eliminar impurezas, antes de serem embalados e armazenados. As embalagens mais comuns para acondicionamento são sacos de juta ou polipropileno trançado, com capacidade de 60 kg, e empilhados sobre estados de madeiras em lotes de 200 sacas, sendo 10 fileiras de altura e 20 sacas na base. Esse ambiente de armazenamento deve ser controlado com o manuseio e controle de pragas, se precisos. O local de armazenamento deve ser sombreado, fresco e ventilado para minimizar as atividades biológicas dos grãos, principalmente no período quente e úmido, de outubro a março (NASCIMENTO et al., 1998).

No Brasil, durante a pós-colheita de grãos, ocorrem perdas de alimentos, em períodos de estocagem, que advêm da falta de preservação da qualidade destes. De tal modo que, torna-

se essencial a realização de estudos que possam contribuir na garantia da qualidade destes alimentos (KNOB, 2010).

6.1 Qualidade de grãos armazenados

Entre os atributos que determinam a qualidade de um produto, a aparência, é um dos principais, pois é a primeira impressão que o consumidor terá do produto. A aparência abrange vários fatores com tamanho, forma, cor, textura, massa, entre outros. No entanto, a cor se destaca, pois deve estar dentro de uma faixa esperada, uma vez que, cores fora dos padrões farão com que outros fatores provavelmente nem sejam analisados (FRANCIS, 1995).

Para os grãos, as principais características que determinam a qualidade são: teor de água baixo e uniforme, valores elevados de massa específica, concentração de óleos e proteínas, viabilidade como semente, percentuais reduzidos de impurezas, de descoloração, de danos pelo calor, trincas internas, de susceptibilidade à quebra, de danos causados por pragas e insetos. Ainda durante a formação do grão, alguns fatores podem afetar essas características como cultivar, época e sistema de colheita, sistema de secagem e condições de armazenamento e transporte (BROOKER et al., 1992).

Em grãos armazenados, os fatores que irão governar a qualidade do produto são umidade e temperatura. Colville (2017) expõe como regra geral (Lei de Van't Hoff) que, para cada 5°C reduzidos a vida útil da semente é dobrada, da mesma forma, reduzindo 1% o teor de água das sementes. Esse autor também recomenda que as sementes estejam secas na umidade de equilíbrio de 5 a 20°C e de 10 a 25% de umidade relativa e, em seguida seladas em recipientes herméticos, armazenados em temperatura de 18°C e 15% de umidade relativa, para longo prazo.

Brasil (2009), descreve o grau do teor de água de uma amostra pela perda de massa. De acordo com Camargo e Carvalho (2008), o conteúdo de água e a temperatura da massa dos grãos são manipulados facilmente nos processos de secagem e armazenamento, em ambientes em que a umidade e temperatura são controladas por equipamentos.

No entanto, a redução do teor de água deve ser realizada sem prejudicar a qualidade do produto. A secagem natural ou artificial, realizada em temperaturas elevadas provocam alterações bioquímicas nos grãos, que podem levar a morte da semente, prejudicando a sua qualidade fisiológica. Temperaturas e umidades relativas elevadas afetam a viabilidade das sementes, sendo mais susceptíveis à invasão pela microflora (ARAÚJO, 2014).

Armazenamento de produtos com quantidade de água acima do recomendado (maior que 13%), já foram realizados com resultados ruins devido ao alto metabolismo que esses

produtos apresentam, com a ocorrendo aquecimento da massa de grãos e desenvolvimento de mofo, grãos germinados e, por último, a ocorrência de podridões (BORDIGNON, 2009).

Uma indicação desses acontecimentos na massa de grãos pode ser verificada com a análise de cor, uma medida útil de alterações possivelmente provocadas pelo processamento, que auxiliam na avaliação e seleção de grãos para obtenção de determinados produtos (farinhas, por exemplo) (LUO et al., 1999; SIMONI, 2017).

Quando Simoni (2017) estudou diferentes temperaturas de amaciamento dos grãos de bico, sem que estes se desintegrassem, para a produção de farinhas, verificou visualmente características físicas semelhante a grãos cozidos nas temperaturas mais elevadas de 65 e 85 °C. A temperatura ideal determinada foi de 65°C, para as cultivares BRS Aleppo e BRS Cícero. Para essa autora, a resistência ao esmagamento, influencia o tempo de cocção do produto. Assim, Yildirim et al. (2011), consideram a compressão dos grãos, um fator importante, pois influencia na aceitação daquele produto, e auxilia na redução de gastos de tempo e energia durante o preparo.

De maneira geral, a qualidade do produto determina o preço deste. Empresas empacotadoras alinham as “marcas do produto” ao tipo de grão, juntamente com a coloração clara, e o consumidor associa o maior tamanho a um melhor rendimento de panela (CARBONELL et al., 2010).

8. EMBALAGENS PARA GRÃOS

A embalagem pode ser definida em termos de sua função: “meio de conseguir a entrega segura dos produtos, na condição sadia, até o consumidor final, com um mínimo custo”. Ela desempenha uma parte importante na maioria das operações de processamento de alimentos e, até em alguns casos, como para conservas, é parte essencial da operação (FELLOWS, 2017).

Para Fellows (2017), o objetivo da embalagem é proteger e conter os alimentos contra uma série de danos, durante o processo de distribuição e armazenamento. No entanto, os materiais utilizados para embalar, não devem interagir com o produto, como pela migração de compostos tóxicos devida a reações entre o produto e a embalagem, como também influenciar a seleção de microrganismos indesejáveis, tais como a seleção de patógenos anaeróbicos em produtos com a atmosfera modificada ou embalados a vácuo.

Segundo Marsh (2016), o empacotamento pode ser classificado em: rígido ou flexível. O empacotamento rígido pode ser realizado com todos os materiais, já o flexível é restrito ao

plástico, ao papel e aos polímeros com ou sem papel, sendo que todos os polímeros são permeáveis a água e gases, variando de um material para outro.

A embalagem plástica de polietileno de baixa densidade é quimicamente inerte e encolhe quando aquecida. Possui baixa permeabilidade as trocas de água, mas tem permeabilidade relativamente alta a gases, e má resistência ao odor (FELLOWS, 2017).

A embalagem de papel Kraft, é produzida a partir da polpa de papel, obtida por moagem de microplaquetas de madeira e digerindo a polpa em hidrólise de sódio e sulfato de sódio por várias horas, dissolvendo assim lignina, carboidratos, resinas na polpa que serão removidos por lavagem, para deixar as fibras de celulose. O 'Kraft' é a denominação sueca, para a palavra 'forte' (FELLOWS, 2017). Antes da polpa ser encaminhada à máquina de papel, irá passar por um processo de refinação, causando a ruptura de algumas ligações de hidrogênio entre fibras, o que aumenta a flexibilidade das fibras e melhora o entrelaçamento (SMOOK, 1989). As variáveis que mais influenciam a qualidade do papel produzido, de acordo com Sanjuan (1997), são: o comprimento das fibras, a espessura da parede celular, os danos físicos durante o processo de refinação, os danos químicos durante o processo de polpação e deslignificação.

Os pacotes são fechados por meio de dobras ou grampos, onde não são realmente selados e podem vir a apresentar contaminação por microrganismos. Materiais como metal, vidro ou polímeros são barreiras aos microrganismos, mas os selos também podem ainda ser uma fonte potencial de contaminação pela contenção do ar ou água extraída por furos em recipientes hermeticamente selados, com temperatura ou tempo de aquecimento incorreto (FELLOWS, 2017).

Dessa forma, a escolha da embalagem para o armazenamento de sementes a longo prazo, deve ser feito considerando alguns aspectos importantes. As embalagens devem ser seladas corretamente, pois, caso contrário, absorverão a umidade do ambiente e seu tempo de vida será reduzido (COLVILLE, 2017). O café que antes era comercializado em sacarias ou a granel, nos dias de hoje se encontra também, nas embalagens de polipropileno, para exportação.

Alves e Lin (2003), estudando a influência do fatores embalagem, teor de água inicial e o período de armazenamento, para a conservação do vigor em sementes de feijão, concluiu que o maior vigor ocorreu quando o teor de água inicial foi de 11% com sementes armazenadas em saco de polietileno de baixa densidade. A embalagem semipermeável, nas condições do experimento, foi responsável por conservar o vigor ao longo do armazenamento.

Toledo e Marcos Filho (1977) expuseram bem essa influência do teor de água para o armazenamento de sementes de feijão. Sementes com 12% de água podem ser conservadas por até um ano de armazenamento. Já sementes com teor de água entre 10 e 11%, o período de

armazenamento por ser maior. Entretanto, Popinigis (1985) relata que, com o uso de embalagens impermeáveis, o máximo teor de água deve ser de 9%.

Antonello et al. (2009), mostram que esses resultados podem ser explicados por diversos fatores, tais como: a supressão de oxigênio das embalagens plásticas, que pode afetar o metabolismo das sementes a ponto de comprometer sua viabilidade. Já quando se tem sementes armazenadas em sacos de pano, as condições ambientais são as que irão determinar o comportamento dos grãos. Esses autores observaram que alta umidade relativa combinada com altas temperaturas durante o período de armazenamento, eleva a incidência de insetos e pragas, comprometendo a viabilidade, pelos danos ao embrião, e o vigor, pelo consumo de reservas da semente.

De acordo com Fellows (2017), embalar o produto tem como benefícios: conter, assegurando o conteúdo e mantendo seguros para o consumidor, sem violações; proteger, contra danos causados por calor, absorção de umidade, perda de oxidação, ruptura e danos causados por microrganismos; facilitar todo o sistema de produção, armazenagem e distribuição, incluindo fácil abertura e identificação, além da reciclagem ou reutilização.

Camargo e Carvalho (2008) expõem que, para sementes de milho doce, o armazenamento em condições de ambiente natural, com acondicionamento em embalagem plástica e com o uso do vácuo assegurou menores reduções na qualidade fisiológica, durante o armazenamento em 18 meses.

Já para New (1988), o acondicionamento de semente de milho e soja a vácuo, não é recomendável para uso comercial, quando em larga escala, pois resulta em ganhos pouco significativos. Dessa forma, deve-se buscar artifícios, que possam ser utilizados também por pequenos produtores, em menor escala.

O outro aspecto importante da embalagem é a comunicação, para identificar o conteúdo e ajudar na venda do produto. A transmissão de luz, é necessária em pacotes que se destinam a exibir o conteúdo, mas é restrito quando os alimentos são suscetíveis à deterioração por luz, por exemplo, devido a rancidez causada pela oxidação de lipídios, perda de valor nutricional devido à destruição de riboflavina, ou alterações na cor causada por perda de pigmentos naturais (FELLOWS, 2017).

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO JÚNIOR, P.C.; CORRÊA, P.C.; GONELI, A.L.D.; VILARINHO, M.C.; FRANÇA, A.S. Dinâmica da contração volumétrica do fruto de café durante o processo de secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Especial Café, Viçosa, n.8, p.29-35, 2004.

AGUILERA, L.A.; CARON, B.O.; CELLA, W.L.; LERSCH JUNIOR, I. Qualidade fisiológica de sementes de milho em função da forma e do tratamento químico das sementes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.2, p.211-215, 2000.

ALVES, A.C.; LIN, H.S. Tipo de embalagem, umidade inicial e período de armazenamento em sementes de feijão. **Scientia Agraria**, Paraná, v.4, n.1-2, p.21-26, 2003.

ANTONELLO, L.M.; MUNIZ, M.F.B.; BRAND, S.C.; RODRIGUES, J.; MENEZES, N.L.; KULCZYNSKI, S.M. Influência do tipo de embalagem na qualidade fisiológica de sementes de milho crioulo. **Revista Brasileira de Sementes**, Santa Maria, v.31, n.4, p.75-86, 2009.

ARAUJO, W.D. Caracterização física dos grãos e frutos de amendoim durante a secagem. 2013. 96p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2013.

ARAUJO, M.M.V. **Indicadores de qualidade em grãos de soja submetidos a diferentes condições de armazenamento**. 2014. 84p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical), Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2014.

ARAUJO, W.D.; GONELI, A.L.D.; SOUZA, C.M.A.; GONÇALVES, A.; VILHASSANTI, H.C.B. Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.3, p.279-286, 2014.

APPEL, T. E.; BIERHOFF, K.; APPEL, J. J.; VON LINDERN, S.; BERGE, B. NIEDERHAGEN. Predictive variables for the biological behaviour of basal cell carcinoma of the face: Relevance of morphometry of the nuclei. **British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery**, Edinburgh, v.41, n.3, p.147-150, 2003.

BARBOSA, F.R.; GONZAGA, A.C.O. **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira: 2012-2014**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2012. (Documentos 272) 248p.

BARROSO, M.R.; MAGALHÃES, M.J.; CARNIDE, V.; MARTINS, S.; VEGAS, C.A.; CACHÓN, M.R. **Caracterização e avaliação de diferentes espécies de leguminosas grão na região de Trás-os-Montes**. Mirandela: Direcção Regional de Agricultura e Pescas do Norte (DRAPN), 2007. 65p. (Coleção Uma Agricultura com Norte).

BEEBE, S., RAO, I.M., MUKANKUSI, C., BURUCHARA, R. Improving resource use efficiency and reducing risk of common bean production in Africa, Latin America and the Caribbean. In: Hershey, C. (Ed.), **Issues in Tropical Agriculture**. I. Eco-Efficiency: From Vision to Reality. CIAT, CA, Colombia, p.117-134, 2012.

BEZERRA P. H.; BIAGGIONI M.A. M.; SILVA, M.A.P.; SPEROTTO, F.C.S.; BRANDÃO, F.J.B. Efeito do armazenamento na qualidade dos grãos e do óleo de crambe para produção de Biodiesel. **Energy in Agriculture**, v.30, n.1, p.310-318, 2015.

BIAGGIONI, M. A. M.; TOLEDO PIZA.; FERREIRA. P. L. B. Queda de pressão estática por meio de uma coluna de noz macadâmia. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.2, p.499-507, 2005.

BIAGI, J. D.; BERTOL, R.; CARNEIRO, M. C., Secagem de Grãos para Unidades Centrais de Armazenamento. Organizado por: Irineu Lorini; Lincoln Hiroshi Miike; Vildes Maria Scussel. **Armazenagem de Grãos**. 1 ed., Campinas: Instituto Bio Geneziz (IBG), v. 1, p. 289-308, 2002.

BORDIGNON, B.C.S. **Relação das condições de armazenamento com a qualidade fisiológica de sementes e composição do óleo extraído de cultivares de soja**. 2009. 90p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

BOTELHO, F.M.; CORREA, P.C.; BOTELHO, S.C.C.; VARGAS-ELIAS, G.A.; ALMEIDA, M.D.S.D.; OLIVEIRA, G.H.H. Propriedades físicas de frutos de café robusta durante a secagem: determinação e modelagem. **Coffee Science**, Lavras, v.11, n.1, p.65-75, 2016.

BRAGA, N.R.; VIEIRA, R.F.; RAMOS, J.A. de O. A cultura do grão-de-bico. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.16, n.174, p.47-52, 1992.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA, 2009. 395p.

BREMNER, J.M.; MULVANEY, C.S. Nitrogen - Total. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D.R. (Ed.). **Methods of soil analysis: part 2: chemical and microbiological properties**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p.595-624.

BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying cereal grains**. Connecticut: The AVI publishing, 1981, 265p.

BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. Westport: AVI, 1992. 450 p.

CAMARGO, R.; CARVALHO, M.L.M. Armazenamento a vácuo de semente de milho doce. **Revista Brasileira de Sementes**, v.30, n.1, p.131-139, 2008.

CAMPOS-VEGA, R.; BASSINELLO, P.Z.; SANTIAGO, R.A.C.; OOMAH, B.D. 2018. **Dry Beans: Processing and Nutritional Effects**. Therapeutic, Probiotic, and Unconventional Foods, cap.25, 2018. p.367-386.

CARBONELL, S.A.M.; CHIORATO, A.F.; GONÇALVES, J.G.R.; PERINA, E.F.; CARVALHO, C.R.L. Tamanho de grão comercial em cultivares de feijoeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.10, p.2067-2073, 2010.

COLVILLE, L. Seed Storage. Kew: **Encyclopedia of Applied Plant Sciences**, 2ª Ed., v.1, 2017. p.335-339.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira; Monitoriamento agrícola, quinto levantamento, fevereiro 2019 / Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab, 2019. 125p.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira; Monitoriamento agrícola, sexto levantamento, março 2019 / Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab, 2019b. 149p.

CORREA, M.P. **Dicionário das Plantas Úteis do Brasil**. Imprensa Nacional: Rio de Janeiro, v.6, 1984.

EKECHUKWUA, O.V.; NORTON, B. Review of solar energy drying systems II: an overview of solar drying technology. **Energy Conversion and Management**, v.40, n.6, p.615-655, 1999.

ELIAS, R.N.; BARBOSA, A.L.S.; MANCINI, M.C. Secagem de grão de bico em leito fixo. **Revista Universidade Rural**, Rio de Janeiro, v.21, n.1, p.113-119, 2002.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa Arroz e Feijão. BRSMG Realce: Uma nova opção de cultivar com grão rajado para o estado de Minas Gerais. Santo Antônio de Goiás: Embrapa, 2008. 2p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa Arroz e Feijão. Soluções tecnológicas: Feijão BRSMG Realce. Santo Antônio de Goiás: Embrapa, 2011. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/522/feijao---brsmg-realce>> Acesso em: 26 de março de 2019.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa Arroz e Feijão. O feijão nosso de todo dia. Santo Antônio de Goiás: Embrapa, 2012. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1462995/o-feijao-nosso-de-todo-dia>> Acesso em: 26 de março de 2019.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa Arroz e Feijão. Catálogo de cultivares de feijão comum. Santo Antônio de Goiás: Embrapa, 2013. 24p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Produção vegetal. Nutritivas e sustentáveis, leguminosas de grãos secos são destaque em 2016. Embrapa, 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/18204770/nutritivas-e-sustentaveis-leguminosas-de-graos-secos-sao-destaque-em-2016>>. Acesso em: 07 de junho de 2019.

FELLOWS, P.J. Packaging. **Food Processing Technology**, p.949-1044, 2017.

FERREIRA, M.E.; ANDRADE, L.R.M.; SANO, E.E.; CARVALHO, A.M.; JUNQUEIRA, N.T.V. **Uso de imagens digitais na avaliação da cobertura do solo**. EMBRAPA CERRADOS, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. EMBRAPA, Planaltina, 2001. 51p.

FERREIRA, A.C.P.; BRAZACA, S.G.C.; ARTHUR, V. Alterações químicas e nutricionais do grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) cru irradiado e submetido à cocção. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.26, n.1, p.80-88, 2006.

FRANCIS, F.J. Quality as influenced by color. **Food Quality and Preference**, v.6, p.149-155, 1995.

FREITAS, F.O. Evidências genético-arqueológicas sobre a origem do feijão comum no Brasil. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.41, n.7, p.1199-1203, 2006.

GALLON, R.A. **Desenvolvimento e avaliação de um sistema para classificar grãos de culturas anuais por processamento de imagem digital**. 2012. 76p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2012.

GAUR, P.M.; TRIPATHI, S.; GOWDA, C.L.L.; RANGA RAO G.V.; SHARMA, H.C.; PANDE, S; SHARMA, M. Chickpea seed production manual. Andhra Pradesh, Índia, **ICRISAT**. 2010. 28p.

GEPTS, P.; DEBOUCK, D.G. Origin, domestication, and evolution of the common bean (*Phaseolus vulgaris*). In: SCHOONHOVEN, A. van; VOYSEST, O. (Ed.). **Common beans: research for crop improvement**. Cali: CIAT, 1991. p.07-53.

GODOY, L.J.G.; YANAGIWARA, R.S.; VILLAS BÔAS, R.L.; BACKES, C.; LIMA, C.P. Análise da imagem digital para estimativa da área foliar em plantas de laranja “pêra”. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.29, n.3, p.420-424, 2007.

GOERGEN, R. **Modelagem Matemática da Transferência de Calor em um Meio Particulado**. 2010. 84p. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática), Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2010.

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**, v.33, n.1, p.1-8, 2011.

GONZALES, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento de imagens digitais**. Ed. Edgard Blücher – LTDA, São Paulo - SP, 2000.

GUEDES, M.A. **Características físicas de grãos utilizando processamento digital de imagens**. 2010. 376p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

HALL, C. W. **Drying and storage of agricultural crops**. Westport: AVI, 1980, 381p.

HAMUDA, E.; GLAVIN, M.; JONES, E. A survey of image processing techniques for plant extraction and segmentation in the field. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.125, n.1, p.184–199, 2016.

HOSKEM, B.C.S. **Época de plantio de grão-de-bico em Montes Claros, Minas Gerais: Produtividade e qualidade de sementes**. 2014. 65p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2014.

HOU, H. J.; CHANG, K. C. Storage conditions affect soybean color, chemical composition and tofu qualities. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.28, n.1, p.473-488, 2004.

KHATCHATOURIAN, O. A.; SAVICKI, D. L. Mathematical modelling of airflow in an aerated soya bean store under non-uniform conditions. **Biosystems Engineering**, v.88, n.2, p.201-211, 2004.

KNOB, A.H. **Aplicação do processamento de imagens digitais para análise da anisotropia da massa de grãos**. 2010. 71p. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2010.

KOUA, B.K.; KOFFI, P.M.E.; GBAHA, P. Evolution of shrinkage, real density, porosity, heat and mass transfer coefficients during indirect solar drying of cocoa beans. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v.18, n.1, p.72-82, 2019.

KUMAR, A.; MATHEW, A. Method for estimating the surface area of ellipsoidal food materials. **Biosystems Engineering**, v.85, p.1-5, 2003.

KUO, T.Y.; CHUNG, C.L.; CHEN, S.Y.; LIN, H.A.; KUO, Y.F. Identifying rice grains using image analysis and sparse-representation-based classification. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.127, n.1, p.716-725, 2016.

LOPEZ-GRANADOS, F. Weed detection for site-specific weed management: mapping and real-time approaches. **Weed Research**, v.51, p.1-11, 2010.

LUO, X.; JAYAS, D.S.; SYMONS, S.J. Identification of damaged kernels in wheat using a colour machine vision system. **Journal of Cereal Science**, v.30, n.1, p.49-59, 1999.

MAIA, M. **Secagem de sementes de azevém anual com ar de ambiente forçado**. 1995. 108p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1995.

MARSH, K.S. Polymer and plastic packaging. **Global Food Security: Woodstock Institute for Science & the Humanities** (DBA WISSH.org), Seneca, 2016. 2p.

MARQUES FILHO, O.; VIEIRA NETO, H. **Processamento Digital De Imagens**. Ed.: Brasport, 1999. 410p.

MAYOR, L.; SERENO, A.M. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. **Journal of Food Engineering**, v.61, n.1, p.373-386, 2004.

MOLINA, J.P. **Fracionamento da proteína e estudo termoanalítico das leguminosas: grão de bico (*Cicer arietinum*), variedade cíceros e tremçoço branco (*Lupinus albus* L.)**. 2010. 68p. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição), Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Araraquara, 2010.

NASCIMENTO, W.M.; PESSOA, H.B.S.V.; GIORDANO, L.B. **Cultivo do grão de bico (*Cicer arietinum* L)**. Brasília: EMBRAPA Hortaliças, 1998. (Instruções Técnicas 14) 12p.

NASCIMENTO, W.M.; SUINAGA, F.A.; BOITEUX, L.S.; PINHEIRO, J.B.; ARTIAGA, O.P. **Grão de bico: BRS Cristalino**. Brasília: EMBRAPA Hortaliças, 2017. (Circular Técnica) 2p.

NEW, J.H. Studies on vacuum packing of seed. **Seed Science & Technology**, v.16, n.1, p. 715-723, 1988.

OLIVEIRA, D.E.C.; RESENDE, O.; COSTA, L.M. Efeitos da secagem na coloração dos frutos de baru (*Dipteryx alata* Vogel). **Revista Agro@mbiente On-line**, v.10, n.4, p.364-370, 2016.

OMOBUWAJO, O.T., AKANDE, A.E., SANNI, A.L., 1999. Selected physical, mechanical and aerodynamic properties African Breadfruit (*Treculia africana*) seeds. **Journal of Food Eng.**, v.40, n.1, p.241–244, 1999.

ONWUDE, D.I.; HASHIM, N.; ABDAN, K.; JANIUS, R.; CHEN, G. Combination of computer vision and backscattering imaging for predicting the moisture content and colour changes of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) during drying. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.150., n.1, p.178-187, 2018.

PAREDES-ORTA C.A.; MENDIOLA-SANTIBAÑEZ, J.D.; MANRIQUEZ-GUERRERO, F.; TEROL-VILLALOBOS, I.R. Method for grain size determination in carbon steels based on the ultimate opening. **Measurement**, v.133, n.1, p.193–207, 2019.

PARK, M.; JIN, J. S.; AU, S. L.; LUO, S.; YUE, C. Automated defect inspection systems by pattern recognition. **International Journal of Signal Processing**, v.2, n.2, p.31-42, June 2009.

PESKE, S.T. Secagem de sementes. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, FAEM,1991. 65p.

PESKE, S. T.; VILLELA, F. **Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos**. Pelotas, p. 283-322, 2003.

PINTRO, F. **Análise morfológica dos eritrócitos nas doenças hematológicas através da aplicação de redes neurais artificiais no processamento de imagens digitais**. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática), Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2008.

POMPEU, A.S. Melhoramento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). In: **Feijão fatores de produção e qualidade**, Coord. E.A. BULISANI, Campinas: Fundação Cargill, p.1-28, 1987.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília: AGIPLAN, 1985. 289p.

PORTELLA, J.A.; EICHELBERGER, L. **Secagem de grãos**. Embrapa Trigo - Livro técnico (INFOTECA-E). Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. 193p.

QUEIROZ, D.M.; PEREIRA, J.A.M. **Secagem de grãos em baixas temperatura**. CENTREINAR, Viçosa-MG, 1986. 49p.

RAVI, R.; BHATTACHARYA, S. Flow behaviour of chickpea (*Cicer arietinum* L.) flour dispersions: effect of additives. **Journal of Food Engineering**, v.65, n.4, p.619– 624, 2004.

RAZERA, L.F. Colheita, secagem, beneficiamento e armazenamento de sementes. **O Agrônomo**, Campinas, v.27, p.124-143, 1975.

RESENDE, O. **Variação das propriedades físicas e mecânicas e da qualidade do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) durante a secagem e o armazenamento**. 2006. 197p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

RESENDE, O.; RODRIGUES, S.; SIQUEIRA, V.C.; ARCANJO, R.V. Cinética da secagem de clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiro de chão batido. **Acta Amazonica**, v.40, n.2, p. 247 – 256, 2010.

SANKARAN, S.; WANG, M.; VANDEMARK, G.J. Image-based rapid phenotyping of chickpeas seed size. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, Amesterdã, v.9, n.1, p.50-55, 2016.

SATHE, S.K. Beans: Overview. **The legumes and pseudocereals**. 297-306p. 2016.

SCARIOT, M.A.; RADÜNZ, L.L.; DIONELLO, R.G.; TONI, J.R.; MOSSI, A.J.; REICHERT JUNIOR, F.W. Quality of wheat grains harvested with different moisture contents and stored in hermetic and conventional system. **Journal of Stored Products Research**, v.75, n.1, p.29-34, 2018.

SHAHIN, M. A.; SYMONS. S. J. Seed sizing from images of non-singulated grain samples. **Canadian Biosystems Engineering**, Winnipeg, v.47, p.3.49-3.55 2005.

SHARMA, R.D. **Algumas informações sobre a cultura do grão de bico (*Cicer arietinum* L.)**. Planaltina: EMBRAPA, 1984. 20p.

SIDDIQ, M; UEBERSAX, M.A. **Dry Beans and Pulses: Production, Processing and Nutrition**. Ed.: John Wiley & Sons, 2012. 408p.

SIDDIQUE, K.H.M. Chickpea: Agronomy. **Encyclopedia of Food Grains: 2º Ed. Agronomy of grain growing**. 2016. p.216-222.

SILVA, J.S.; PARIZZI, F.C; CARDOSO SOBRINHO, J. **Beneficiamento de grãos**. Secagem e Armazenagem de grãos: Capítulo 13, 1995. p.307-323.

SILVA, O.F.; WANDER, A.E. **O Feijão-Comum no Brasil: Passado, Presente e Futuro**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2013. (Documentos 287) 61p.

SIMONI, R.C. **Hidratação de grão-de-bico (*Cicer Arietinum* L.): estudo cinético e influência na qualidade tecnológica do grão**. 2017. 134p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

SINGH, N.; SEKHON, K.S.; BAJWA, U.; GOPAL, S. Cooking and parching characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.). **Journal of Food Science and Technology**, v.29, n.1, p.347-350, 1992.

SINGH, F.; DIWAKAR, B. Chickpea Botany and Production Practices. Índia. **ICRISAT**. 1995. 64p. (Skill Development Series, nº.16).

SMANIOTTO, T.A.S.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D.E.C.; SIQUEIRA, V.C.; SOUSA, K.A. Ajuste de modelos matemáticos a contração volumétrica unitária e da massa dos grãos de soja. **Revista Agro@mbiente On-line**, v.9, n.4, p.397-404, 2017.

SMOOK, G.A.; **Handbook for Pulp and Paper Technologists**. Tappi Press: Atlanta, 1989.

TOLEDO, F.F.; MARCOS FILHO, J. Manual das sementes: tecnologia da produção, São Paulo, Ed. **Ceres**, 224p., 1977.

WEBER, E.A. **Excelência em beneficiamento e armazenagem de grãos**. Porto Alegre: Ed. la Salle, 1ªed. 2005, 586p.

WOOD, J.A.; GRUSAK, M.A. Nutricional value of chickpea. In: **Chickpea Breeding and Management**, Capítulo 5. CAB International, p.101-142, 2007.

YADOLLAHINIA, A.; LATIFI, A.; MAHDAVI, R. New method for determination of potato slice shrinkage during drying. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.65, n.1, p.268–274, 2009.

YADAV, S.S.; REDDEN, R.R.; CHEN, W.; SHARMA, B. Ed.: Chickpea Breeding and Management. 2006. **CABI Publishing**. 458p.

YILDIRIM, A.; ONER, M.D.; BAYRAM, M. Fitting fick's model to analyze water diffusion into chickpeas during soaking with ultrasound treatment. **Journal of Food Engineering**, v.104, n.1, p.134-142, 2011.

**CAPÍTULO 1: APLICAÇÃO DO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS NA
CARACTERIZAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICAS DE FEIJÃO ‘BRSMG
REALCE’ DURANTE A SECAGEM**

RESUMO

Na pós-colheita, o comportamento do produto durante a secagem torna-se fundamental para o entendimento dos processos de transferência de calor e massa, aeração, resfriamento e armazenamento, como também para otimizar os processos industriais. Os métodos que determinam e modelam as propriedades físicas e as contrações volumétricas do produto devem ser avaliados para que sejam mais eficientes. Assim, objetivou-se determinar as propriedades físicas por imagens digitais durante a secagem de grãos de feijão 'BRSMG Realce'. As propriedades físicas dos grãos de feijão foram determinadas a partir da obtenção dos eixos ortogonais (comprimento, largura e espessura) por dois métodos de medição: paquímetro e análise de imagens digitais, com o uso de fotos realizadas na posição de repouso e horizontal dos grãos, a fim de obter os diferentes eixos, na câmera digital. Os métodos foram comparados em cada teor de água estudado: 25, 23, 21, 19, 17, 15, 13 e 11% (base úmida). O experimento foi conduzido, portanto, em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. A partir desses dados foram obtidos, pela média de 20 grãos por repetição, os valores de esfericidade, circularidade, massa unitária de grãos, porosidade e as contrações volumétrica da massa e unitária dos grãos, comparando pelo teste t de Student, as diferentes medições, em cada teor de água. Também foram determinadas durante a secagem, a massa de 100 grãos e a massa específica aparente. O experimento foi realizado no Laboratório de Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas, da Universidade Estadual de Goiás, em Anápolis-GO. O programa de análise de imagens digitais, desenvolvido para obtenção dos eixos dos grãos de feijão, apresentou resultados satisfatórios, sendo considerado pelos valores, "ótimo" para o eixo "a", "ótimo" para o eixo "b" e para o eixo "c" entre "ótimo" e "muito bom", na maioria dos teores de água analisados. Também, não se constatou diferenças nas médias dos dados obtidos a partir dos diferentes métodos de medição dos eixos ($P > 0,05$). Durante a secagem dos grãos de feijão, houve uma tendência linear de redução dos eixos ortogonais: comprimento, largura e espessura, assim como para esfericidade, circularidade e massa de 100 grãos ($P \leq 0,05$). No entanto, para a massa específica aparente e unitária e a porosidade, a redução do teor de água proporcionou o aumento destas. A contração volumétrica unitária dos grãos ficou estimada 22,04% para a medição dos eixos por paquímetro e 28,63% por imagens digitais, nos teores de água estudados. O modelo ajustado foi o exponencial para ambas medições, já para a contração volumétrica da massa dos grãos de feijão o melhor modelo foi o polinomial para a análise de imagens e o exponencial para a medição por paquímetro, porém, resultados aceitáveis, mostram que o modelo polinomial pode ser utilizado em ambas metodologias.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris* L. Teor de água. Processamento digital de imagens.

ABSTRACT

Postharvest, the behavior of the product during drying becomes fundamental for understanding the processes of heat and mass transfer, aeration, cooling and storage, as well as to optimize industrial processes. Methods that determine and model how properties used and volumetric contractions of the product should be considered for more efficient. Thus, this work aimed to determine the properties used by digital images during drying of 'BRSMG Realce' bean grains. The physical properties of bean grains have been used since the use of orthogonal axes (length, width and thickness) by two methods of use: caliper and digital image analysis, use photos displayed in the position natural and horizontal grain, of a end to get the different axes in the digital camera. The methods were compared for each water content studied: 25, 23, 21, 19, 17, 15, 13 and 11% (wet basis). Therefore, the experiment was conducted in a randomized open design with three replications. From these data were used, by the average of 20 grains per repetition, the values of sphericity, circularity, grain unit mass, porosity and volumetric contractions of mass and grain unit, comparing by the test, the different measurements, in each water content. Also used during drying were a mass of 100 grains and an apparent specific mass. The experiment was carried out at the Agricultural Products Drying and Storage Laboratory, at Goiás State University, in Anapolis-GO. The digital image analysis program, developed to analyze the bean grain axes, presents satisfactory results, the values considered as "optimum" for axis "a", "optimum" for axis "b" and axis "C" between "great" and "very good" in most of the analyzed water contents. Furthermore, we found no differences in the media data obtained from the different methods of using the axes ($P > 0.05$). During drying of bean grains, there was a linear trend to reduce orthogonal axes: length, width and thickness, as well as sphericity, circularity and mass of 100 grains ($P \leq 0.05$). However, for an apparent and unit specific mass and porosity, a reduction in the water content provided or an increase thereof. A unitary grain volume contraction was estimated at 22.04% for axle use per caliper and 28.63% for digital images in the studied water contents. The adjusted model was exponential for measurement measurements, although for a volumetric contraction of bean grain mass or the best model was polynomial for image analysis and exponential for caliper recording, however, acceptable results, which kind of polynomial model can be used in two methodologies.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L. Water content. Digital image processing.

1. INTRODUÇÃO

O feijão é um alimento de vários povos e um dos componentes básicos da dieta brasileira, que, junto com o arroz, formam a base alimentar do país (POMPEU, 1987). Por ser encontrado em quase todos os lugares do país, a preferência de um tipo (cores, preto, caupi) de feijão para outro, varia de acordo com os costumes regionais (CONAB, 2019b). De acordo com a CONAB (2019b) a estimativa de produtividade, em kg ha^{-1} , para o ano de 2019, incluindo o de cores, preto e caupi, nas três safras é de 982, e somente para o de cores em 1384 kg ha^{-1} .

A secagem é um método muito utilizado, após a colheita de grãos no campo, para redução do teor de água e conseqüentemente, diminuição das atividades biológicas e das mudanças físicas e químicas. Esse processo tem como principal finalidade manter a estabilidade e a qualidade do produto durante o armazenamento (CORREA et al., 2005). No entanto, para se adquirir esses benefícios no final da secagem, o produto terá também sofrido algumas perdas de qualidade no processo.

É durante a secagem que há uma série de modificações, na forma, no tamanho, e no volume do produto, ou seja, as propriedades físicas são alteradas (ARAUJO et al., 2014; BOTELHO et al., 2016), sendo que as primeiras causas de mudança das características dimensionais se devem às variações volumétricas. Assim, há uma perda de qualidade dos alimentos durante a desidratação, devido as alterações estruturais favorecidas pelo encolhimento, também denominado contração volumétrica na secagem (CORREA FILHO et al., 2015). Contudo, essas alterações necessárias para estabilizar, dependem das condições do processo e da geometria do produto (CORREA et al., 2005).

Na determinação das características físicas, utiliza-se principalmente como método tradicional o paquímetro. Esse método sujeito à avaliação humana, torna-se oneroso e impreciso para as indústrias, além ainda de poder causar danos ao produto durante o manuseio. Como alternativa, autores como Guedes (2010), propõem aplicar a visão computacional para obter-se uma inspeção objetiva, rápida, econômica e consistente, por análise de imagens digitais, em que a mensuração é dada por métodos de contagem de elementos formadores da imagem denominados *pixels*.

Em todos os métodos, a correta determinação e modelagem das propriedades físicas e das contrações volumétricas do produto, durante o processo de secagem, é muito importante em diversos aspectos. Seja para o entendimento dos fenômenos físicos relacionados à transferência de calor e massa, aeração, resfriamento e armazenamento, como para otimização

dos processos industriais, no projeto e dimensionamento de equipamentos utilizados nas operações de colheita e pós-colheita (RESENDE, 2006).

Diante do exposto, para os processos de pós-colheita, o entendimento do comportamento do produto durante a secagem torna-se fundamental. Assim, objetivou-se avaliar as propriedades físicas e a contração volumétrica de grãos de feijão, cultivar BRSMG Realce, por análise de imagens digitais durante o processo de secagem.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ORIGEM E COLHEITA

Os grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), da cultivar BRSMG Realce, foram provenientes de um experimento conduzido na área experimental da Agência Goiana de Assistência Técnica, Extensão Rural e Pesquisa Agropecuária - EMATER, situado no município de Anápolis-GO.

A localização geográfica para a área é definida pelas coordenadas latitude 16°20'44.27" Sul e longitude 48°52'44.67" Oeste, apresentando altitude média de 1032 m (GOOGLE EARTH, 2018). O clima da região, segundo a classificação de Köppen é do tipo Aw tropical úmido, com estação seca no período outono-inverno (maio-outubro) e chuvas no período primavera-verão (novembro-abril). A temperatura média anual é de 22° C, com precipitação média de 1200 mm anual (GOIÁS, 2018).

Os grãos de feijão foram semeados em outubro “safra das águas”, e mantidos no sistema de irrigação por aspersão, sendo sua colheita realizada em fevereiro de 2019, quando atingiram a maturidade fisiológica. Após a colheita manual, foram acondicionados em sacos plásticos de polietileno de baixa densidade, e levados ao Laboratório de Secagem e Armazenamento de Produtos Vegetais da Universidade Estadual de Goiás, no Campus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas - Henrique Santillo, Anápolis - GO, para a realização dos experimentos.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

As amostras foram inicialmente homogeneizadas e selecionadas aleatoriamente para determinação dos teores de água, pelo método padrão da estufa, segundo BRASIL (2009). Utilizou-se a estufa da marca Ethik Technology, na temperatura de 105±3°C, durante 24 horas, em três repetições.

Após determinar o teor de água inicial dos grãos, estes foram secos em estufa a 40 °C com circulação forçada até 25% b.u. Em seguida, o produto foi separado em três bandejas de chapa galvanizada e perfurada ($\varnothing = 3,5$ mm), com dimensões médias de 0,32 x 0,26 x 0,05 m, contendo, em cada, 350 gramas.

As bandejas com as amostras foram colocadas na estufa, também a 40 °C com circulação de ar forçada, até que as amostras atingissem os teores de água definidos em: 25, 23, 21, 19, 17, 15, 13 e 11 ± 0,1 % b.u. (base úmida). Utilizou-se o método gravimétrico, com determinação das massas entre 10 a 15 minutos. Realizava-se as avaliações com o teor de água obtido e continuava a secagem (RESENDE, 2006).

Em cada teor de água obtido, as amostras foram encaminhadas para determinação das propriedades físicas com o objetivo de avaliar: tamanho, forma e encolhimento dos grãos. Para essa etapa, também, selecionou-se 20 grãos de forma aleatória. Os grãos foram identificados numerando-os com caneta permanente, para que fossem utilizados, os mesmos, desde o primeiro teor de água até o último. Com isso, foram utilizadas 3 repetições com 20 grãos cada para determinar as dimensões dos eixos “a” “b” e “c”, que correspondem ao comprimento (maior eixo), a largura (eixo médio) e a espessura (menor eixo), respectivamente.

Dessa forma, o experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com estatística univariada, isto é, as medidas físicas dos grãos de feijão foram avaliadas em função dos 8 diferentes teores de água: 25, 23, 21, 19, 17, 15, 13 e $11 \pm 0,1$ % b.u., com 3 repetições.

Para obtenção das medidas dos grãos utilizou-se os métodos de análise de imagens e o tradicional por paquímetro.

2.2.1 Primeiro método: Análise de imagens digitais

A captura de imagens dos grãos foi realizada por meio da câmera fotográfica digital Canon SX50 HS, com resolução de 12.1 megapixels, regulada na função manual, ajustando o brilho e a sensibilidade do sensor (ISO), posicionada paralelamente às amostras, numa altura de 0,20 m aproximadamente (GODOY et al., 2007).

Com o objetivo de obter os diferentes eixos, os grãos foram alocados em duas posições diferentes, repouso natural e horizontal com o hilo voltado para cima, sobre uma superfície plana de poliestireno expandido (isopor), pois cada cena tem dimensionalidade reduzida (bidimensional) e assim, só é possível obter por cena, dois eixos dos grãos (“a” e “b”; ou “a” e “c”) a depender da posição que foi alocado.

Posteriormente, as imagens obtidas foram armazenadas em um computador, e já em pastas específicas foram identificadas e salvas no formato *Joint Photographic Experts Group* (JPEG), conforme observa-se na Figura 1.

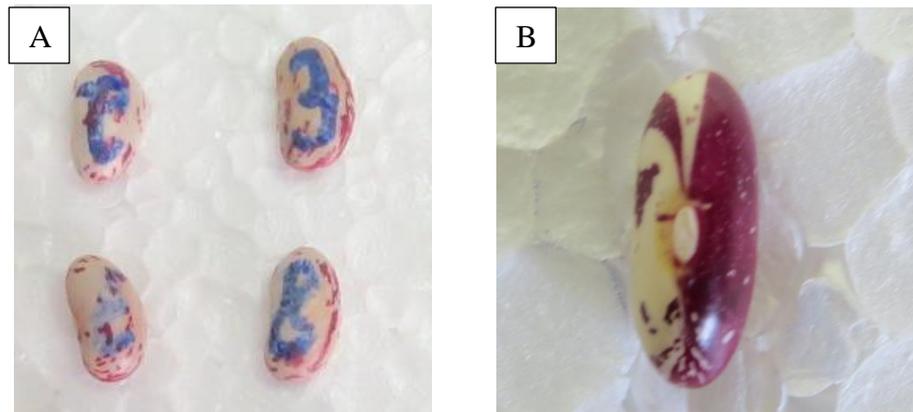


FIGURA 1. Imagem dos grãos de feijão, cultivar BRSMG Realce, sob uma superfície plana de poliestireno expandido (isopor), alocados nas posições: A - repouso natural e; B – repouso horizontal com o hilo voltado para cima.

O algoritmo para a medição dos eixos ortogonais foi desenvolvido no software “MATLAB and Simulink Student Suite” licenciado. Os procedimentos adotados são expostos conforme observa-se no fluxograma da Figura 2.

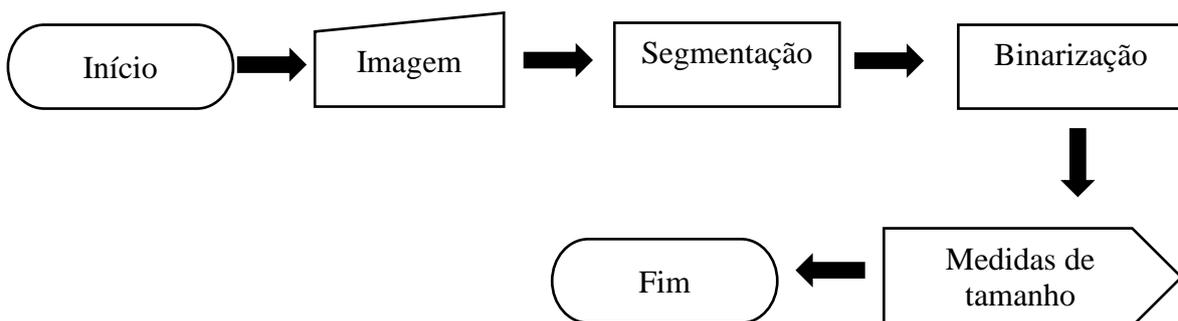


FIGURA 2. Fluxograma do procedimento adotado para obtenção das medidas dos grãos por imagens digitais.

Os dados de entrada no programa são as imagens dos grãos para cada teor de água e os resultados (saída) são as medidas dos grãos no eixo maior e menor. Durante a análise de imagens, as etapas de pré-processamento foram necessárias para caracterizar a região de interesse, no caso os contornos dos grãos.

Inicialmente, com a imagem inserida no programa, corrigida quanto ao brilho e contraste, a fim de evitar sombras que prejudicassem o tratamento das imagens, realizou-se o processo de segmentação.

O processo de segmentação dividiu a imagem em diferentes regiões ou no caso de interesse, os grãos. Para isso, o algoritmo analisa cada pixel da imagem, obtendo classificações distintas, que exploram as características de similaridade, descontinuidade e conectividade, de acordo com os pixels presentes na imagem.

Na etapa de pré-processamento, a suavização das imagens em 256 níveis de cinza, foi realizada utilizando a função `rgb2gray`, com o objetivo de realçar o contraste. Além disso, a função também converte a imagem em uma matriz, ou seja, cada pixel terá uma posição e valor correspondente ao seu tom de cinza, dentre os valores de 1 a 256 (KNOB, 2010).

O processo de segmentação é um passo essencial na análise de imagens por computador e nos processos de reconhecimentos de padrão essencial para uma boa precisão durante a interpretação e extração dos dados. Assim, os resultados são dependentes da operação inicial (GUEDES, 2010; KNOB, 2010).

Em seguida, na etapa de segmentação realizou-se a detecção dos contornos dos vinte grãos existentes em cada imagem. Empregou-se os principais algoritmos detectores de contornos, realizando inicialmente a binarização da imagem, ou seja, torná-la em apenas dois tons, preto e branco. É por meio da binarização das imagens que se obtêm facilmente as características morfológicas do tamanho e forma dos grãos (GRANITO et al., 2003).

Seguido desses processos, o reconhecimento e a interpretação para limitar os grãos e obter as informações de medidas encontradas nas imagens, são atribuídos a um rótulo de informações fornecidas na descrição do algoritmo para agrupar os objetos reconhecidos, preenchendo-os e limitando cada grão na cena.

De acordo com Gonzalez e Woods (2000), este procedimento de limitar uma região abrange duas técnicas que variam em termos de suas características: internas ou externas. Na interna, representa a região dos pixels que compõem o objeto.

Os grãos numerados de 1 a 20, tiveram seus valores extraídos e exportados para a planilha Microsoft Excel 365®. Com os dados, ainda em pixels, estabeleceu por meio de um círculo padrão de 25 mm de diâmetro, medido com paquímetro, colocado na imagem, a conversão da medida em milímetros, ou seja, o valor que possui em pixel, foi colocado em uma regra de três para saber quantos pixels equivale um milímetro.

Para cada posição (2 posições), repetição (3 repetições) e teor de água (8 teores) as imagens foram analisadas quanto as suas características: comprimento maior, médio e menor, totalizando 48 imagens processadas e analisadas.

2.2.2 Segundo Método: Padrão por paquímetro

Realizou-se com auxílio do paquímetro digital da marca Mitutoyo, com precisão de 0,01 mm, a medição das dimensões dos eixos ortogonais comprimento (a), largura (b) e espessura (c), conforme a Figura 3.

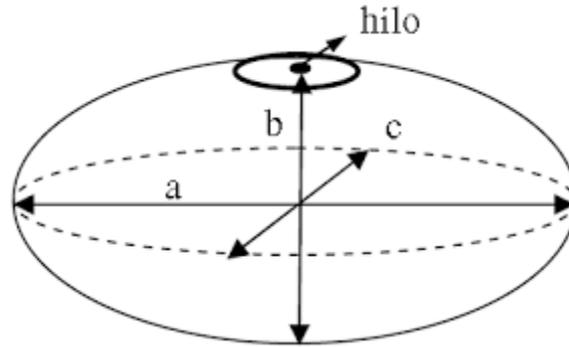


FIGURA 3 – Desenho esquemático do grão de feijão, considerado esferoide oblato, com suas dimensões características.

Fonte: Resende, 2006.

2.2.3 Avaliação dos métodos para obtenção das medidas dos grãos

Os métodos foram avaliados por meio do coeficiente de determinação (R^2), obtidos pela regressão linear e, adicionalmente, verificou-se a confiabilidade utilizando o índice de concordância de Willmontt (d) (WILLMONTT et al., 1981), na Equação 1.

$$d = 1 - \frac{\sum (y' - y_{obs})^2}{\sum (|y' - \bar{y}_{obs}| + |y_{obs} - \bar{y}_{obs}|)^2} \quad (1)$$

Em que: d= índice de concordância de Willmontt; y' = valores medidos por paquímetro; y_{obs} = valores observados pelo programa de análise de imagens, e; n= número de grãos observados.

Foi utilizado, também, o erro médio absoluto (EMA), Equação 2; o erro médio (EM), Equação 3:

$$EMA = \frac{1}{n} \sum |y' - y_{obs}| \quad (2)$$

$$EM = \frac{1}{n} \sum (y' - y_{obs}) \quad (3)$$

Em que: EMA= erro médio absoluto; EM= erro médio; y' = valores medidos por paquímetro; y_{obs} = valores observados pelo programa de análise de imagens, e; n= número de grãos observados.

Já, o índice de confiança (c), está exposto na Equação 4:

$$c = r \cdot d \quad (4)$$

Em que: c= índice de confiança; d= índice de concordância de Willmontt; e; r= coeficiente de correlação de Pearson.

Pelo índice de confiança, o desempenho proposto por Camargo e Sentelhas (1997), é analisado pela relação entre os dados observados por paquímetro, com os dados determinados por meio do programa, conforme Quadro 1. Nessas análises estatísticas utilizou-se o software Microsoft Office Excel 365.

QUADRO 1 – Critério de interpretação do desempenho do método de análise de imagens digitais, pelo índice “c”.

Valor de “c”	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

Fonte: Camargo e Sentelhas (1997).

2.2.4 Propriedades físicas analisadas

Com a obtenção dos eixos “a”, “b” e “c” pelos diferentes métodos, foi possível obter as seguintes propriedades físicas:

- Tamanho e forma: Pelas medições realizadas, utilizando paquímetro e análise de imagens, determinou-se, pelas Equações 5 e 6, os valores de esfericidade e circularidade respectivamente (MOHSEIN, 1986).

$$E = \frac{(a \cdot b \cdot c)^{1/3}}{a} \quad (5)$$

$$C = \frac{b}{a} \quad (6)$$

Em que: E= esfericidade (adimensional); C= circularidade (adimensional); a= maior eixo do grão, em mm; b= eixo médio do grão, em mm; c= menor eixo do grão, em mm.

- Massa específica aparente e unitária: Determinou-se a massa específica aparente (ρ_{ap}), em Kg m^{-3} , utilizando-se um recipiente cilíndrico de acrílico com volume conhecido, e uma balança analítica com precisão de 0,01 gramas, Equação 7. Já a massa específica unitária (ρ_u) foi calculada pela Equação 8. Obteve-se a massa de cada grão com um auxílio de uma balança analítica com precisão de 0,01 gramas, e o volume pela mensuração dos eixos ortogonais do grão obtidos, como proposto por Mohsenin (1986), em 20 grãos, ao longo do processo de secagem, definido pela Equação 9 (CORREA et al., 2005).

$$\rho_{ap} = \frac{pg}{V_c} \quad (7)$$

$$\rho_u = \frac{m}{V} \quad (8)$$

$$V = \frac{\pi a b c}{6} \quad (9)$$

Em que: ρ_u = massa específica unitária; V= volume de cada grão, em m^3 ; a= maior eixo do grão, em m; b= eixo médio do grão, em m; c= menor eixo do grão, em m; m= massa de cada grão, em kg; V_c = volume do cilindro até a borda, em m^3 ; pg= peso dos grãos no cilindro, em kg.

- Porosidade: Estimou-se de acordo com a Equação 10, proposta por Mohsenin (1986):

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_u} \right) \times 100 \quad (10)$$

Em que: ε = Porosidade intergranular (%); ρ_u = Massa específica real ou unitária, em kg m^{-3} ; ρ_{ap} = Massa específica aparente do produto, em kg m^{-3} .

- Massa de 100 grãos: Após a contagem de 100 grãos estes foram pesados em balança analítica com precisão de 0,01 gramas, obtendo-se a massa de 100 grãos, convertendo para a unidade kg.
- Contração volumétrica: Foram estimados o índice de contração volumétrica unitária e o índice de contração volumétrica da massa.

Para o índice de contração volumétrica unitária dos grãos (Ψ_u), determinou-se a relação do volume do grão para cada teor de água com o teor de água inicial, conforme Equação 11.

$$\Psi_u = \frac{V}{V_o} \quad (11)$$

Em que: Ψ_u = índice de contração volumétrica unitária, adimensional; V = volume do grão para cada teor de água, em m^3 ; V_o = volume inicial do grão, em m^3 .

Já para o índice de contração volumétrica da massa (Ψ_m), foi utilizado o modelo proposto por Afonso Junior et al. (2000), de acordo com a Equação 12.

$$\Psi_m = \frac{\left(1 - \frac{U_o \cdot \rho_{apo}}{\rho_{ag}} - \varepsilon_o\right)}{\left(1 - \frac{U \cdot \rho_{ap}}{\rho_{ag}} - \varepsilon\right)} \quad (12)$$

Em que: Ψ_m = índice de contração volumétrica unitária, adimensional; U = teor de água do produto, (% , base úmida); U_o = teor de água inicial do produto, (% , base úmida); ρ_{ap} = Massa específica aparente do produto, em $kg\ m^{-3}$; ρ_{apo} = Massa específica aparente inicial do produto, em $kg\ m^{-3}$; ρ_{ag} = Massa específica da água, $1000\ kg\ m^{-3}$; ε_o = porosidade inicial, em %; ε = porosidade, em %.

Com os valores dos índices de contração obtidos, foram ajustados os modelos expressos no Quadro 2.

Quadro 2. Modelos matemáticos utilizados para simulação do índice de contração volumétrica dos grãos de feijão.

Modelo	Equação	
Exponencial	$\Psi = a \cdot \exp(b \cdot (U))$	(13)
Linear	$\Psi = a + b \cdot (U)$	(14)
Polinomial	$\Psi = a + b \cdot (U) + c \cdot (U)^2$	(15)

Em que: ψ = índice de contração volumétrica; U = teor de água do produto, (% , base úmida); U_0 = teor de água inicial do produto, (% , base úmida); a , b e c = parâmetros que dependem do produto (GONELLI et al., 2011).

No ajuste dos modelos matemáticos realizou-se a análise de regressão não linear, pelo método Gauss Newton, utilizando-se o programa Statistica 12.0. Para verificar o grau de ajuste dos modelos do Quadro 1, foi considerada a significância do coeficiente de determinação (R^2), a magnitude dos valores do erro médio relativo (P), Equação 18, e do erro médio estimado (SE), Equação 19.

$$P = \frac{10}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \right) \quad (18)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (19)$$

Em que: P = erro médio relativo, adimensional; SE = erro médio estimado; Y = valor observado experimentalmente; \hat{Y} = valor calculado pelo modelo; e GLR = grau de liberdade do modelo ($n-1$); n = número de observações experimentais.

2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As variáveis obtidas foram submetidas a análise de variância ($P \leq 0,05$) pelo teste de F , e as suas médias foram submetidas à análise de regressão, utilizando o software SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2014).

Para cada teor de água, comparou-se as médias das determinações de: esfericidade, circularidade, massa específica unitária e porosidade, por meio do teste t de Student com nível de confiança estatística de 95%, com desvio padrão, erro padrão da média e coeficiente de variação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 EIXOS ORTOGONAIS DO FEIJÃO BRSMG REALCE

Para os diferentes métodos de obtenção dos eixos ortogonais: método padrão por paquímetro e método de análise de imagens digitais, obteve-se os valores de “a”, “b” e “c” correspondentes ao eixo maior, ao eixo médio e ao eixo menor respectivamente, dos grãos de feijão, cultivar BRSMG Realce, durante o processo de secagem (25 a 11 % b.u.), como mostrado na Tabela 1.

TABELA 1 – Dimensões médias dos eixos ortogonais “a”, “b” e “c” correspondentes ao eixo maior, ao eixo médio e ao eixo menor, respectivamente, de grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), da cultivar BRSMG Realce, durante o processo de secagem, em função dos diferentes teores de água (U), utilizando os métodos de análise digital de imagens digitais (I.D.) e por paquímetro digital (P). Anápolis, 2019.

Método	U (% b.u.)	Eixos ortogonais (mm)		
		A	b	c
P	25	15,27±0,68	7,84±0,39	6,20±0,35
	23	15,11±0,66	7,62±0,41	6,09±0,34
	21	14,95±0,67	7,47±0,39	6,05±0,34
	19	14,85±0,66	7,38±0,39	5,95±0,35
	17	14,74±0,66	7,29±0,39	5,89±0,34
	15	14,65±0,68	7,20±0,38	5,83±0,35
	13	14,55±0,69	7,15±0,37	5,73±0,36
	11	14,48±0,70	7,08±0,36	5,64±0,36
	I.D.	25	15,25±0,83	7,96±0,97
23		14,96±0,95	7,75±1,00	6,33±0,82
21		14,83±0,96	7,53±1,02	6,17±0,68
19		14,72±0,96	7,41±1,02	6,07±0,73
17		14,62±0,90	7,29±1,06	5,94±0,66
15		14,52±0,89	7,13±1,02	5,86±0,60
13		14,40±0,98	7,06±0,83	5,78±0,94
11		14,28±0,97	6,88±0,97	5,70±0,98

De modo geral, observa-se que, os grãos de feijão apresentaram um encolhimento com a redução do teor de água de 25 a 11 % b.u. Com a obtenção dos dados utilizando o paquímetro digital, na Tabela 1, verifica-se, que, para os eixos “a”, “b” e “c” ocorre uma diminuição na sua dimensão de 5,18; 9,66 e 8,97 %, respectivamente. Analisando o método de análise de imagens, percebe-se a mesma tendência de contração do grão. No entanto, o encolhimento mostra-se

mais expressivo neste método, com os eixos “a”, “b” e “c”, alcançando uma redução respectiva de 6,35; 13,49 e 11,83 %.

A diferença mostrada de 1,17; 3,83 e 2,86 % entre os métodos, correspondentes aos eixos ortogonais “a”, “b” e “c” pode ser justificada pelos desvios encontrados em cada metodologia.

Nos desvios, nota-se que se segue um padrão, com poucas variações em cada caso, nos eixos “a”, “b” e “c”. Isto mostra a tendência de cada metodologia. Acredita-se que os valores mais elevados de desvios pelas imagens digitais devem-se pelos pixels de cada imagem tratada. No desenvolvimento da obtenção da quantidade de pixels de cada grão, o tratamento apresentado mostra uma tendência de agregação de pixels que representou valores mais elevados nesse índice.

Quando Isik e Unal (2007), determinaram as dimensões médias de 100 grãos de feijão, em um teor de água equivalente a 11% b.u., obtiveram comprimento de $12,84 \pm 1,22$ mm, largura de $9,22 \pm 0,75$ mm e espessura de $7,62 \pm 1,15$ mm. Esses desvios relatados por esses autores, mostram-se superiores para o comprimento e a espessura dos encontrados na Tabela 1.

No eixo “b”, é possível notar maiores desvios do uso de análise de imagens digitais, do que aqueles encontrados para os outros eixos. Acredita-se, que a coloração creme com estrias vermelhas tenha dificultado o processamento da imagem, trazendo valores superiores. Dessa maneira, a metodologia de identificação das características geométricas básicas, por imagens digitais, envolve um conjunto crucial de parâmetros com relação à morfometria da luz (CHARYTANOWICZA et al., 2018).

Ainda, Charytanowicza et al. (2018), discutindo a importância do tamanho e forma de grãos no processo de classificação das variedades de trigo: canadense, Kama e Rosa, por imagens digitais, obtiveram medições significativamente maiores para a variedade Rosa, ou seja, mais precisas, justamente por suas características geométricas serem menos diferenciadas na luz. Todavia, a metodologia apresentada, combinando análises de imagens com métodos estatísticos, estabeleceu-se confiável, permitindo a detecção de características não destrutivas e automáticas.

Outras conclusões das propriedades físicas e mecânicas de grãos de feijão vermelho, expostas por Isik e Unal (2007), nos teores de água compreendidos de 11 a 24,4% b.u., são que o comprimento, a largura e a espessura variou de 12,84 a 13,52; de 9,22 a 9,44; e de 7,62 a 7,99 mm, respectivamente, apresentando o mesmo comportamento de contrair com a redução do teor de água.

Conforme a Tabela 1, em ambas metodologias, o eixo “b”, ou eixo médio, correspondente a largura do grão, obteve a maior contração. Cogita-se afirmar que o eixo “b” é o que sofre maior alteração durante a secagem de grãos de feijão, da cultivar BRSMG Realce, seguido do eixo “c” e do eixo “a” do grão. Com valores superiores, o eixo “a” encontra-se com menor perda percentual.

Para Botelho et al. (2016), o encolhimento dos frutos de café, durante a secagem a 40° C (de 1,7 a 0,13 base seca), foi maior para as menores dimensões, sendo uma redução de 7,60% para o eixo maior, 15,92% para o eixo médio e 20,30% para o eixo menor. Estes resultados corroboram com os obtidos nesse trabalho.

Todavia, Resende (2006), também avaliando os três eixos ortogonais de grãos de feijão comum, durante o processo de secagem, concluiu que os eixos maiores se contrariam mais, ou seja, o eixo “a”, seguidos do eixo “b” e “c”. A resposta de como os eixos dos grãos se contraem de maneiras diferentes é explicada pelas suas próprias dimensões características que apresentam variações desuniformes.

Araújo et al (2014b) explica que, onde há a junção dos cotilédones, a redução é mais acentuada propiciando em grãos de amendoim um encolhimento de 16% na espessura, e 8 e 7 % no comprimento e na largura, respectivamente, em um mesma faixa de água.

O modelo para o eixo “a” (comprimento do grão), Figura 4, apresentou o ajuste linear para ambos os métodos avaliados.

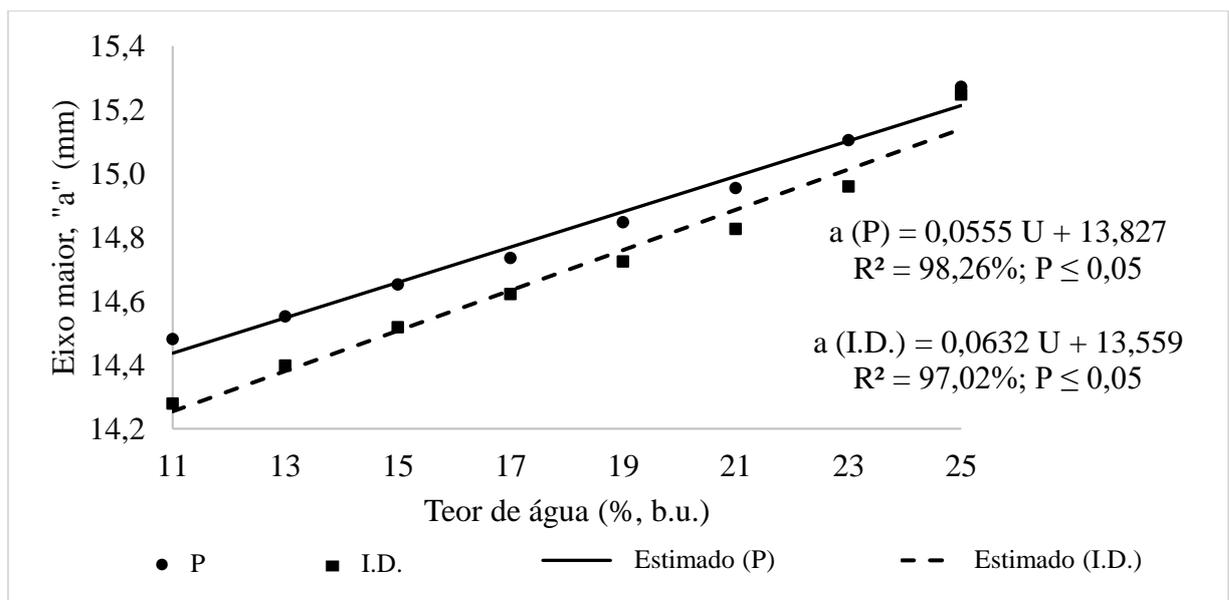


FIGURA 4. Eixo “a”, em mm, obtido pelo método de análise de imagens digitais e pelo paquímetro, em função dos diferentes teores de água (% base úmida), durante a secagem dos grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), da cultivar BRSMG Realce. P- Paquímetro digital; I.D. – Imagens Digitais.

Os coeficientes de determinação (R^2) foram de 98,26 % e de 97,02 %, para os métodos avaliados: paquímetro e análise de imagens digitais, respectivamente, com ajustes significativos ($P \leq 0,05$).

Conforme observado na Figura 4, o modelo linear estimado por imagens subestimou a determinação do eixo “a”, em todos os teores de água analisados, em comparação ao paquímetro. No entanto, a diferença torna-se menor com o aumento do teor de água.

A medição por paquímetro e por análise de imagens, no início da secagem com 25% era bem similar com $15,27 \pm 0,68$ e $15,25 \pm 0,83$ mm, respectivamente. As diferenças para o método de medição de imagens digitais se tornaram mais expressivos com a redução do teor de água, alcançando $14,28 \pm 0,97$ mm em comparação ao paquímetro com $14,48 \pm 0,70$ mm. No entanto, a variação foi considerada inferior, quando comparadas aos outros eixos.

Trabalhando com diferentes métodos de medição: paquímetro, projetor e scanner, Guedes (2010), encontrou para o eixo “a”, ou comprimento dos grãos de feijão valores médios diferentes, em diferentes teores de água. Para teores de água de 12,32 a 19,52% b.u., obteve valores para a medição paquímetro 10,63 e 11,04, do projetor 10,73 e 11,10 e de scanner 10,90 e 11,32 mm. Em média, o maior coeficiente de variação foi para o método por paquímetro e do scanner, iguais a 3,71%, e os maiores desvios padrões variaram de acordo com o teor de água.

Outros autores, como Gomes et al. (2018), observaram, que, a redução do teor de água ocasiona a diminuição do eixo a. A exemplo, encontraram para grãos de feijão-caupi, em função do teor de água, aumento linear de 5,12% com a variação do teor de água de 13,5 a 29,9%, base úmida.

O valor para o eixo “b” em função dos diferentes teores de água, durante o processo de secagem dos grãos de feijão, é apresentado na Figura 5, com o uso do paquímetro e de análise de imagens digitais.

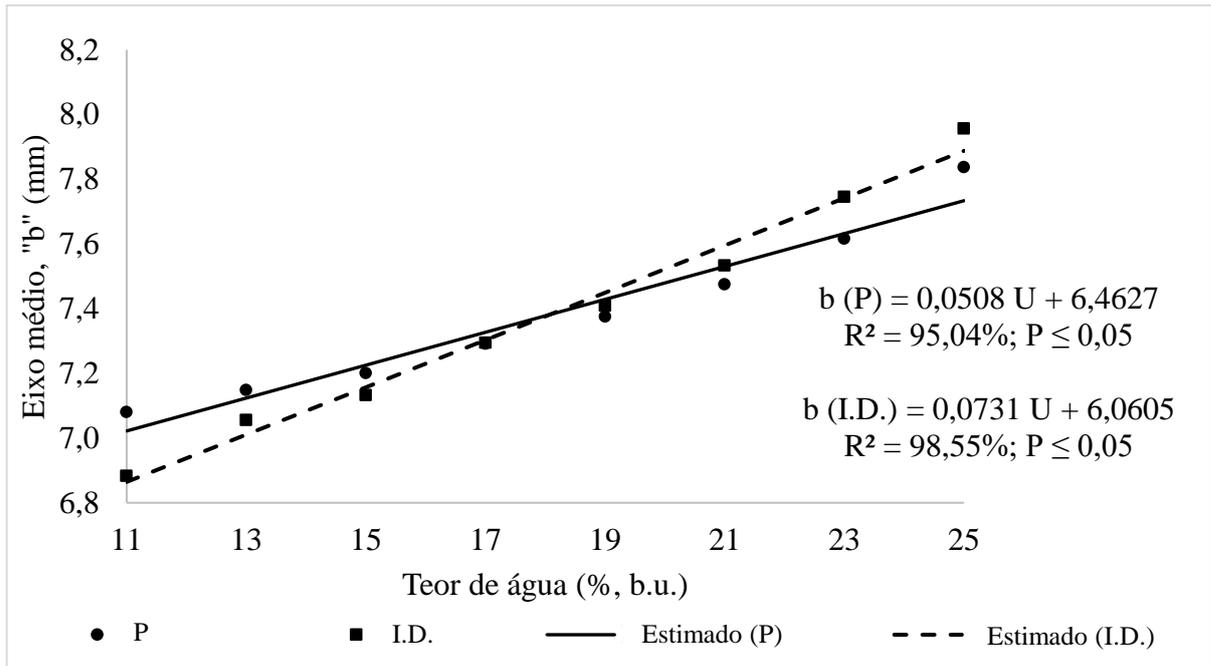


FIGURA 5. Eixo “b”, em mm, obtido pelo método de análise de imagens digitais e pelo paquímetro, em função dos diferentes teores de água (% base úmida), durante a secagem dos grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), da cultivar BRSMG Realce.

P- Paquímetro digital; I.D. – Imagens Digitais.

Evidenciou-se uma tendência linear, conforme a Figura 5, com coeficientes de determinação (R^2) de 95,04 e 98,55 % para o paquímetro e análise de imagens, sendo esse último com melhor R^2 . Nota-se, entre os teores de 19 e 17 % de água, em base úmida, que os valores estimados coincidem quando há o cruzamento das duas retas, mostrando nesse ponto, a igualdade dos valores do eixo “b”, em ambos os métodos.

Observa-se na Figura 5, que, inicialmente, no teor de 25%, a medição por paquímetro apresenta valor médio menor de $7,84 \pm 0,39$ mm, quando comparada ao valor de $7,96 \pm 0,97$ mm, obtido pelo uso de imagens digitais. Esses valores tenderam a reduzir com a diminuição do teor de água dos grãos de feijão, assim ao atingir o teor de 17%, ambas as medições se mostraram equivalentes com o eixo “b” medindo 7,29 mm. Conforme continuou a secagem obteve-se valores de $7,08 \pm 0,36$ mm para o paquímetro e $6,88 \pm 0,97$ mm com as imagens, com o teor de 11% b.u.

O método do paquímetro apresentou menores valores de medição quando comparados a outros, no início do processo de secagem. Guedes (2010), também observando o eixo “b”, ou a largura dos grãos de feijão por diferentes métodos de medição, expos os valores de 7,21 e 7,44 para a medição por paquímetro, 7,38 e 7,62 para a medição do projetor e 7,28 e 7,48 mm pelo scanner, nos teores de água respectivos, de 12,32 a 19,52 % b.u., observando valores menores pela medição por paquímetro.

De forma geral, o eixo “b” diminuiu em uma tendência linear, como relatado por Gomes et al. (2018). Esses autores também verificaram que para os grãos da cultivar Nova Era o eixo médio, possuía média de 7,77 mm.

Na Figura 6, o eixo “c” dos grãos é representado. Ambos os métodos apresentaram diferença significativa em função dos diferentes teores de água estudados ($P < 0,05$), com tendência linear, ou seja, a redução do teor de água promove a redução do eixo menor (“c”).

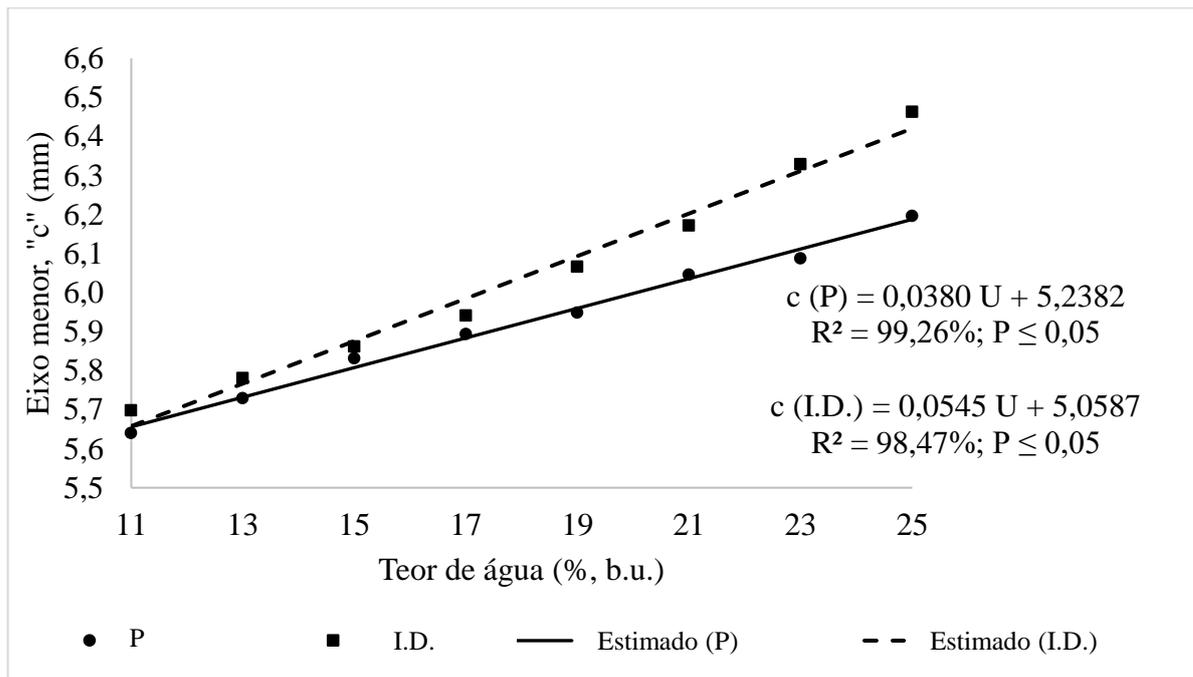


FIGURA 6. Eixo “c”, em mm, obtido pelo método de análise de imagens digitais e pelo paquímetro, em função dos diferentes teores de água (% base úmida), durante a secagem dos grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), da cultivar Realce. P- Paquímetro digital; I.D. – Imagens Digitais.

A Figura 6, mostra os modelos de regressão linear ajustados, com coeficientes de determinação (R^2) de 99,26 % para o paquímetro e 98,47 % para a análise de imagens digitais, mostrando que ambos tiveram um ajuste ótimo, com uma diferença de menos de 1 % (0,79 %).

Ao contrário do eixo “a”, no eixo menor, a diferença se torna maior com o aumento do teor de água, obtendo-se valores superestimados para os dados observados com o uso de análise de imagens digitais.

Nota-se, na Figura 6, que para o eixo “c”, o valor de 15% é o mais próximo entre os métodos de medição com uma diferença de 0,03 mm. Já a maior diferença encontrada está no teor de 23%, com 0,24mm. Em geral, os valores médios da medição por paquímetro foram entre

6,20±0,35 e 5,64±0,36, e por imagens digitais entre 6,46±0,82 e 5,70±0,98 mm, nos teores de água respectivos, de 25 e 11 % b.u.

Comportamento semelhante foi encontrado por Guedes (2010), para o eixo “c”, ou espessura dos grãos de feijão, com média de 5,19 e 5,57 para a medição por paquímetro, 5,28 e 5,47 para o projetor e 5,08 e 5,54 mm para o scanner, nos teores de água de 12,32% e 19,52%, respectivamente.

Sankaran et al. (2016) também expõe que, os resultados das comparações entre métodos de imagens e os padrões, para medir o tamanho de semente, não apresentaram diferenças significativas ($P < 0,01$).

3.2 AVALIAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE DE IMAGENS

As medidas para os grãos foram avaliadas quanto as duas formas de medição: paquímetro e imagens digitais. De acordo com KOC (2007), as medidas realizadas de forma manual, por paquímetro digital, podem não ter uma aproximação prática e eficiente na estimativa de dimensões e conseqüentemente as outras, que são influenciadas, como o volume, também não. Este entendimento está aliado ao fato de que a medição está sujeita a erros humanos. Os métodos usados atualmente em muitas aplicações, comumente chamado “análise de imagens”, sem destruir e danificar, envolve a análise de imagem e operações de processo, que devem ser avaliados.

3.2.1 Eixo “a”

Na Figura 7, são expostas as correlações entre as duas formas de obtenção do eixo “a”, para os diferentes teores de água analisados.

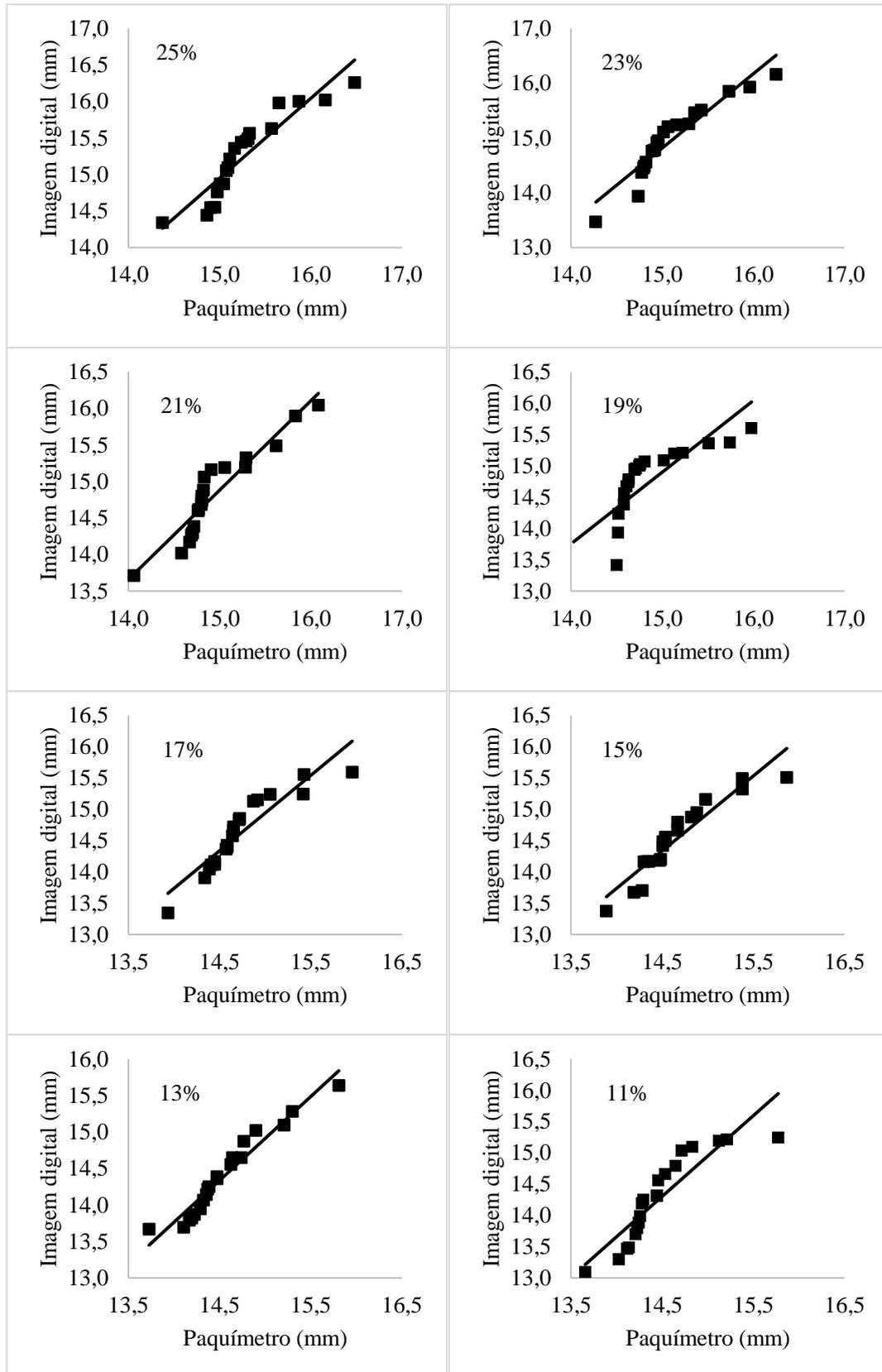


FIGURA 7. Correlação entre os dados obtidos para o eixo “a” entre o paquímetro digital e o método de análise de imagens digitais para cada teor de água.

■ Dados observados; — Dados estimados.

Os modelos de regressão linear para o eixo “a” são encontrados na Tabela 2. Os coeficientes de determinação (R^2) variaram de 63,13 a 93,68 %, sendo o menor atribuído ao teor de água de 19 %, devido a possíveis erros experimentais, e o maior para 13 %. Em média, os R^2 ficaram em torno de 84,03 %.

TABELA 2 - Modelos de regressão linear ajustados aos valores de correlação do eixo “a”, em mm, para cada teor de água (U, % base úmida), dos grãos de feijão, cultivar BRSMG Realce, obtidos em função dos diferentes métodos de obtenção, paquímetro (p) e análise de imagens digitais (i), com seu respectivo coeficiente de determinação (R^2).

U (%)	Modelo	R^2 (%)
25	$i = 1,0938 p - 1,4561$	85,34
23	$i = 1,3571 p - 5,5388$	88,76
21	$i = 2,3279 p - 10,287$	87,77
19	$i = 1,1456 p - 2,285$	63,13
17	$i = 1,2041 p - 3,1196$	85,08
15	$i = 1,1984 p - 3,0415$	87,94
13	$i = 1,1481 p - 2,3102$	93,68
11	$i = 1,2911 p - 4,4178$	80,55

Com os valores determinados de R^2 , foram obtidas as avaliações feitas pelo índice de concordância de Willmott (d), pelo erro médio absoluto (EMA), pelo erro médio (EM), pelo coeficiente de correlação de Pearson (r) e pelo índice de confiança (c) e desempenho de Camargo e Sentelhas, para esse eixo dos grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), da cultivar Realce, para cada teor de água proposto, na Tabela 3.

Verifica-se, na Tabela 3, que os valores dos índices de concordância de Willmott são satisfatórios, com 100% para 5 dos 8 teores de água analisados: 25, 21, 17, 15, 13 %, os quais também apresentaram menores erros médios.

TABELA 3 – Relação entre os dados do eixo “a” determinados por paquímetro, com os dados determinados por análise de imagens digitais, avaliados pelo índice de concordância de Willmott (d), pelo erro médio absoluto (EMA), pelo erro médio (EM), por meio do coeficiente de correlação de Pearson (r) e pelo índice de confiança (c) e desempenho de Camargo e Sentelhas, para os eixos dos grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar BRSMG Realce, para os diferentes teores de água (U, % base úmida), obtidos durante a secagem.

U (%)	D	EMA	EM	r	c
25	1,00	0,19	-0,02	0,92	0,92
23	0,99	0,21	-0,15	0,94	0,93
21	1,00	0,21	-0,13	0,94	0,93
19	0,98	0,30	-0,12	0,79	0,78
17	1,00	0,23	-0,11	0,92	0,92
15	1,00	0,19	-0,13	0,94	0,94
13	1,00	0,18	-0,15	0,97	0,97
11	0,99	0,31	-0,20	0,90	0,89

Conforme a avaliação do índice de confiança (c) e desempenho de Camargo e Sentelhas, o método de análise de imagens foi considerado: “ótimo”, o melhor resultado estabelecido por esse índice para todos os teores de água, com exceção do teor de 19 % de água considerado “muito bom”.

Todos esses resultados mostram que a metodologia empregada de análise de imagens digitais é considerada tão eficaz na obtenção do eixo “a” como a do paquímetro, para os grãos de feijão, cultivar BRSMG Realce, durante a secagem, compreendida nos teores de 25% a 11% de água.

3.2.2 Eixo “b”

Na Figura 8, são expostas as correlações entre as duas formas de obtenção do eixo “b”, para os diferentes teores de água analisados.

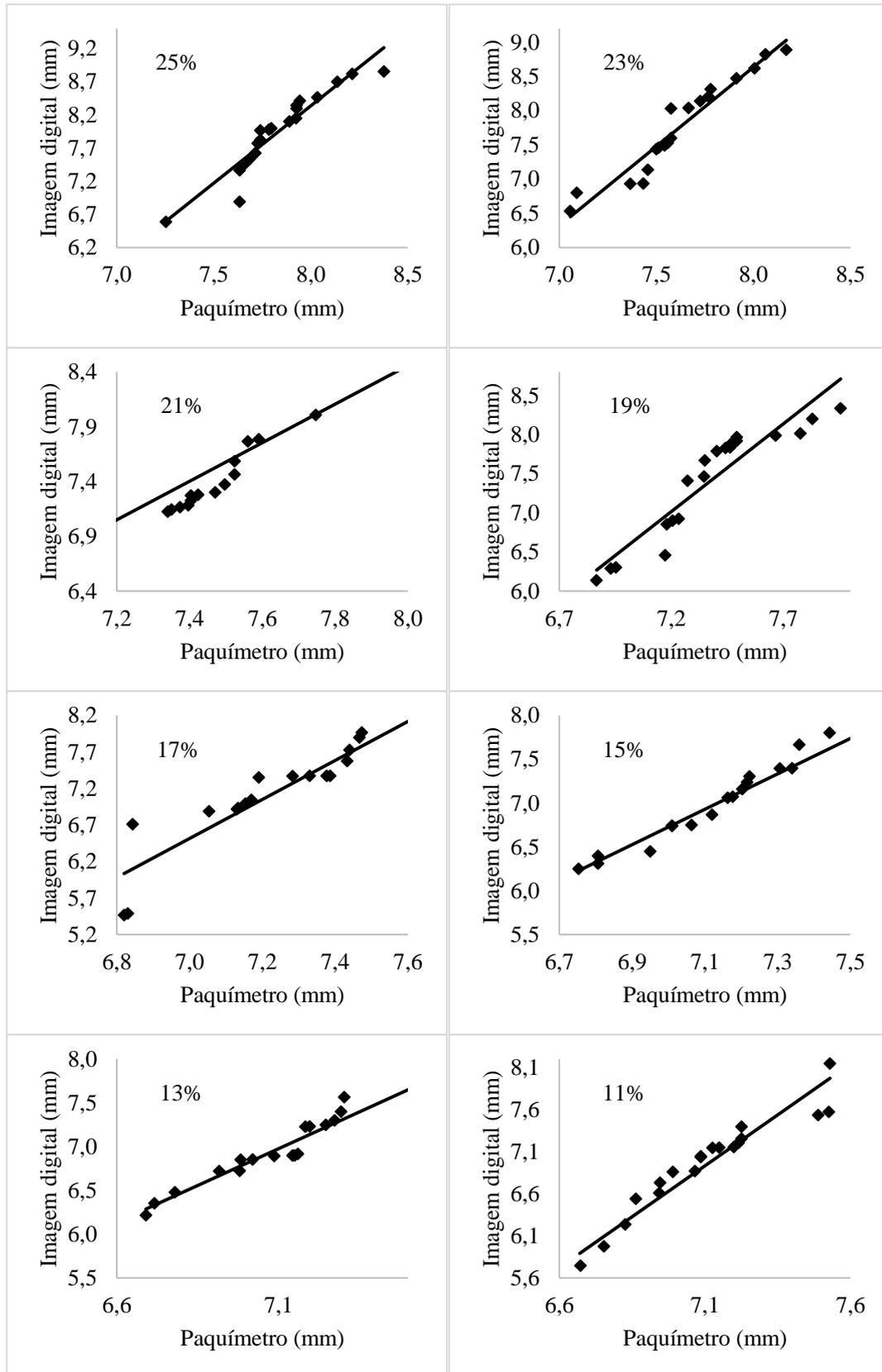


FIGURA 8. Correlação entre os dados obtidos para o eixo “b” entre o paquímetro digital e o método de análise de imagens digitais para cada teor de água.

◆ Dados observados; — Dados estimados.

A Tabela 4, mostra os modelos de regressão linear ajustados aos valores de correlação do eixo “b”, em mm, para os teores de água compreendidos de 25 a 11 %, em base úmida. Os coeficientes de determinação (R^2), variaram de 96,99 para 21% de água a 83,93 % para 15% de água, com uma média geral de 90,60%.

TABELA 4 - Modelos de regressão linear ajustados aos valores de correlação do eixo “b”, em mm, para cada teor de água (U, % base úmida), dos grãos de feijão, cultivar BRSMG Realce, obtidos em função dos diferentes métodos de obtenção, paquímetro (p) e análise de imagens digitais (i), com seu respectivo coeficiente de determinação (R^2).

U (%)	Modelo	R^2 (%)
25	i = 2,3279 p - 10,2870	89,56
23	i = 2,3163 p - 9,8947	92,96
21	i = 1,7601 p - 5,6226	83,93
19	i = 2,2417 p - 9,1248	86,56
17	i = 2,6705 p - 12,1780	89,44
15	i = 2,0206 p - 7,4166	96,99
13	i = 1,6802 p - 4,9540	94,31
11	i = 2,4179 p - 10,2370	91,01

A partir dos valores determinados de R^2 , para o eixo “b”, obteve-se as avaliações feitas pelo índice de concordância de Willmott (d), pelo erro médio absoluto (EMA), pelo erro médio (EM), pelo coeficiente de correlação de Pearson (r) e pelo índice de confiança (c) e desempenho de Camargo e Sentelhas, para a largura dos grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), da cultivar Realce, dentro de cada teor de água proposto, na Tabela 5.

Nota-se, na Tabela 5, que os melhores resultados foram para os teores de 15 e 11%, com o índice de concordância de Willmott (d) de 100%, e menores erros médios, como maiores coeficientes de correlação de Pearson (r). Em geral, os resultados foram satisfatórios pelos parâmetros analisados (Tabela 5).

TABELA 5 – Relação entre os dados do eixo “b” determinados por paquímetro, com os dados determinados por análise de imagens digitais, avaliados pelo índice de concordância de Willmott (d), pelo erro médio absoluto (EMA), pelo erro médio (EM), por meio do coeficiente de correlação de Pearson (r) e pelo índice de confiança (c) e desempenho de Camargo e Sentelhas, para os eixos dos grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar BRSMG Realce, para os diferentes teores de água (U, % base úmida), obtidos durante a secagem.

U (%)	D	EMA	EM	r	c
25	0,95	0,33	0,12	0,95	0,90
23	0,96	0,36	0,13	0,96	0,92
21	0,99	0,22	0,06	0,92	0,91
19	0,97	0,40	0,03	0,93	0,90
17	0,95	0,37	0,00	0,95	0,90
15	1,00	0,26	-0,07	0,98	0,98
13	1,00	0,19	-0,09	0,97	0,97
11	0,99	0,29	-0,20	0,95	0,94

O algoritmo de determinação do eixo “b”, realizado com a análise de imagens digitais, é avaliado pelo índice de confiança e desempenho de Camargo e Sentelhas como “ótimo” para todos os teores de água avaliados (25 a 11 %, em b.u.). Isso demonstra que o programa pode ser utilizado como substituto ao paquímetro na determinação da largura de grãos de feijão, cultivar BRSMG Realce.

3.2.3 Eixo “c”

Na Figura 9, são expostas as correlações entre as duas formas de obtenção do eixo “c”, para os diferentes teores de água analisados.

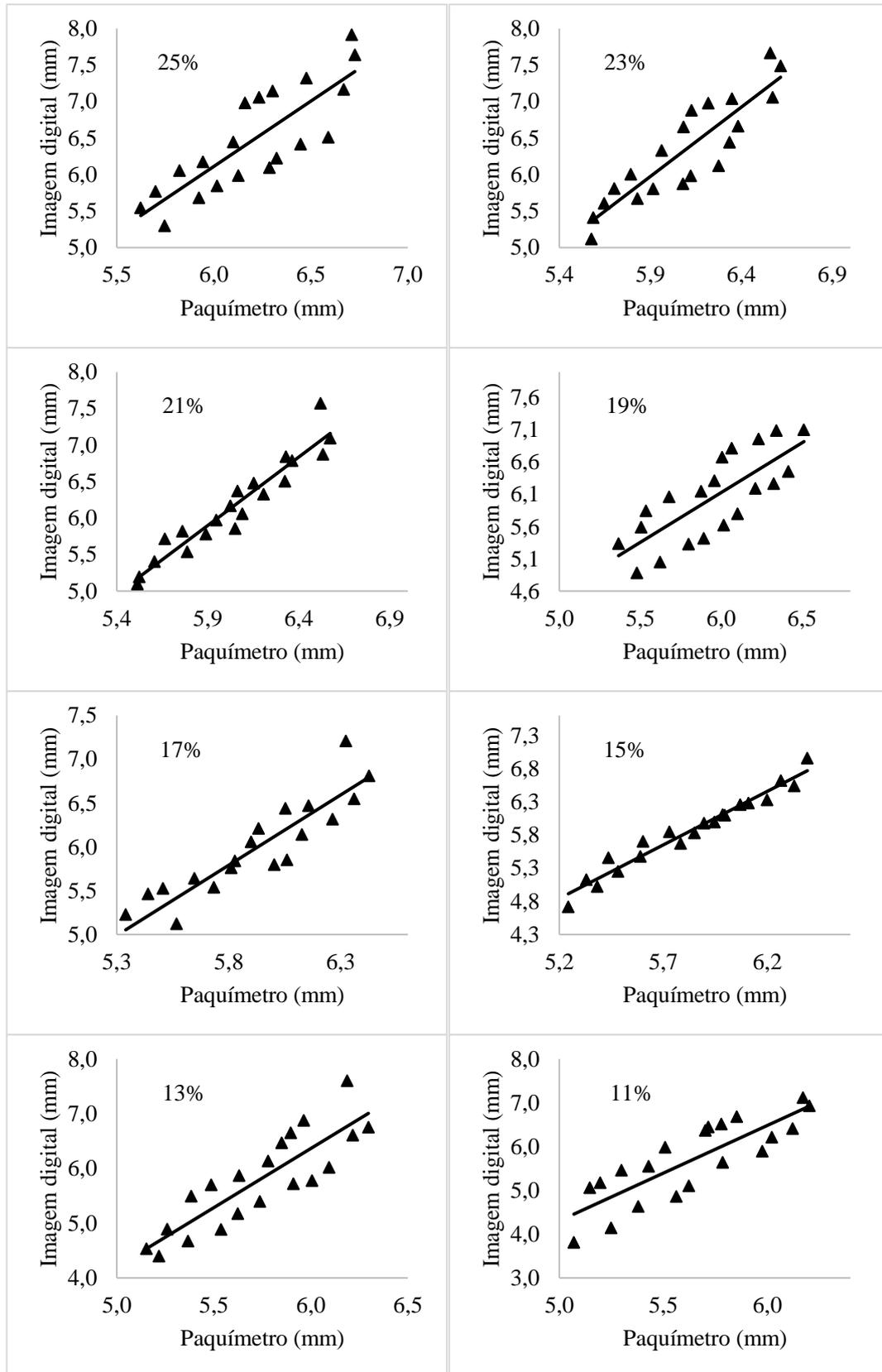


FIGURA 9. Correlação entre os dados obtidos para o eixo “c” entre o paquímetro digital e o método de análise de imagens digitais para cada teor de água.

▲ Dados observados; — Dados estimados.

Os modelos das correlações realizadas para o eixo “c”, em cada teor de água, são mostrados na Tabela 6. Os coeficientes de determinação (R^2) mostram uma variação maior entre os teores de água do que para os outros eixos, variando de 60,03, para o teor de 19%, a 95,61 % para o teor de água de 15%. Para essa variação encontrada, cogita-se dizer que a posição adotada tenha influência nos resultados. A média de R^2 foi de 77,78 %, a menor quando comparada aos eixos “a” e “b”.

TABELA 6 - Modelos de regressão linear ajustados aos valores de correlação do eixo “c”, em mm, para cada teor de água (U, % base úmida), dos grãos de feijão, cultivar BRSMG Realce, obtidos em função dos diferentes métodos de obtenção, paquímetro (p) e análise de imagens digitais (i), com seu respectivo coeficiente de determinação (R^2).

U (%)	Modelo	R^2 (%)
25	$i = 1,7875 p - 4,6132$	69,37
23	$i = 1,8987 p - 5,2289$	79,17
21	$i = 1,8987 p - 5,2289$	91,26
19	$i = 1,5452 p - 3,1440$	60,03
17	$i = 1,6043 p - 3,5137$	83,06
15	$i = 1,6127 p - 3,5421$	95,61
13	$i = 2,1620 p - 6,6066$	74,06
11	$i = 2,1764 p - 6,5776$	69,75

A Tabela 7, apresenta a avaliação dos dados do eixo “c” determinados por paquímetro, com os dados determinados por análise de imagens digitais, determinados pelo índice de concordância de Willmott (d), pelo erro médio absoluto (EMA), pelo erro médio (EM), pelo coeficiente de correlação de Pearson (r) e pelo índice de confiança (c) e desempenho de Camargo e Sentelhas.

Analisa-se, na Tabela 7, o teor de água de 15% foi o mais eficiente em todas as avaliações (d, EMA, EM, r, c). O índice de concordância de Willmott variou de 100% a 89% entre os teores de água analisados, com menor percentual para o teor de 25%, além de apresentar os maiores valores de erros médios.

TABELA 7 – Relação entre os dados do eixo “c” determinados por paquímetro, com os dados determinados por análise de imagens digitais, avaliados pelo índice de concordância de Willmott (d), pelo erro médio absoluto (EMA), pelo erro médio (EM), por meio do coeficiente de correlação de Pearson (r) e pelo índice de confiança (c) e desempenho de Camargo e Sentelhas, para os eixos dos grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar BRSMG Realce, para os diferentes teores de água (U, % base úmida), obtidos durante a secagem.

U (%)	D	EMA	EM	r	c
25	0,89	0,41	0,27	0,83	0,74
23	0,92	0,39	0,24	0,89	0,82
21	0,97	0,28	0,13	0,96	0,93
19	0,94	0,39	0,10	0,77	0,73
17	0,99	0,22	0,05	0,91	0,90
15	1,00	0,19	0,03	0,98	0,97
13	0,93	0,50	0,05	0,86	0,80
11	0,91	0,53	0,06	0,84	0,76

A avaliação do programa desenvolvido, na aquisição dos valores de espessura (eixo “c”) dos grãos de feijão, cultivar Realce, ficou sendo classificado pelo índice de confiança (c) e desempenho de Camargo e Sentelhas como: “ótimo” para os teores de água de 21, 17 e 15 %; “muito bom” para os teores de 23, 13 e 11%; e “bom” para 25 e 19 % de água.

Em todos os teores de água, os eixos foram classificados satisfatoriamente, pelos valores de R², r, d, e c, além de apresentarem erros médios inferiores a 0,31; 0,40 e 0,60 correspondentes aos eixos “a”, “b” e “c”. Com classificações “ótimo” em geral, apenas “muito bom” no eixo “a” para 19%, e “c” para 23, 13 e 11%, e por último “bom” para o eixo “c” nos teores de 25 e 19 % b.u.

Gallon (2012), relacionando as diferentes formas de medição para grãos de milho, girassol, feijão, soja, e algodão obteve um r igual a 0,98; 0,98; 0,99; 0,99; 0,97; respectivamente, o que indica uma forte correlação entre as medidas efetuadas por imagem digital e paquímetro, o que propícia o uso de novos métodos além das comumente usadas.

Ainda, para essas culturas, com a média de 20 grãos, Gallon (2012) verificou, que, a imagem digital apresentou maiores índices de desvio padrão para o milho, a soja, o algodão e o girassol, com diferenças de 0,07; 0,01; 0,02 e 0,04 mm, respectivamente. Para os coeficientes de variação encontrados todas as culturas foram superiores para a imagem digital, apenas o feijão com 7,83% para o paquímetro e 6,86% para as imagens.

Já Kilic et al. (2007), analisando grãos de feijão, obtiveram uma correlação de 0,984 para a determinação do diâmetro maior, quando compararam as medidas produzidas pelas imagens e por paquímetro digital. Os autores fizeram uso de webcam para capturar as imagens e utilizaram o software Matlab® para o processamento das imagens, com ótimo resultado.

Nos primeiros estudos, no ramo de sementes, com McCormac et al. (1990), já era possível obter sucesso nos resultados, quando estes criaram um sistema de avaliação automática de vigor a partir de plântulas de alface, mostraram que o método é tão eficiente quanto o padrão.

Atualmente, Charytanowicza et al. (2018), estudando o número de grãos de trigo de diferentes cultivares: Kama, Rosa e Canadá, classificaram o total de objetos adequadamente em 96, 84 e 96 %, respectivamente para cada cultivar.

3.3 ANÁLISES FÍSICAS GERAIS

3.3.1 Esfericidade e Circularidade

Os valores de esfericidade, para os diferentes métodos em função do teor de água, são mostrados na Figura 10. Em ambas as metodologias de obtenção dos dados, a esfericidade apresentou diferença ($P \leq 0,05$).

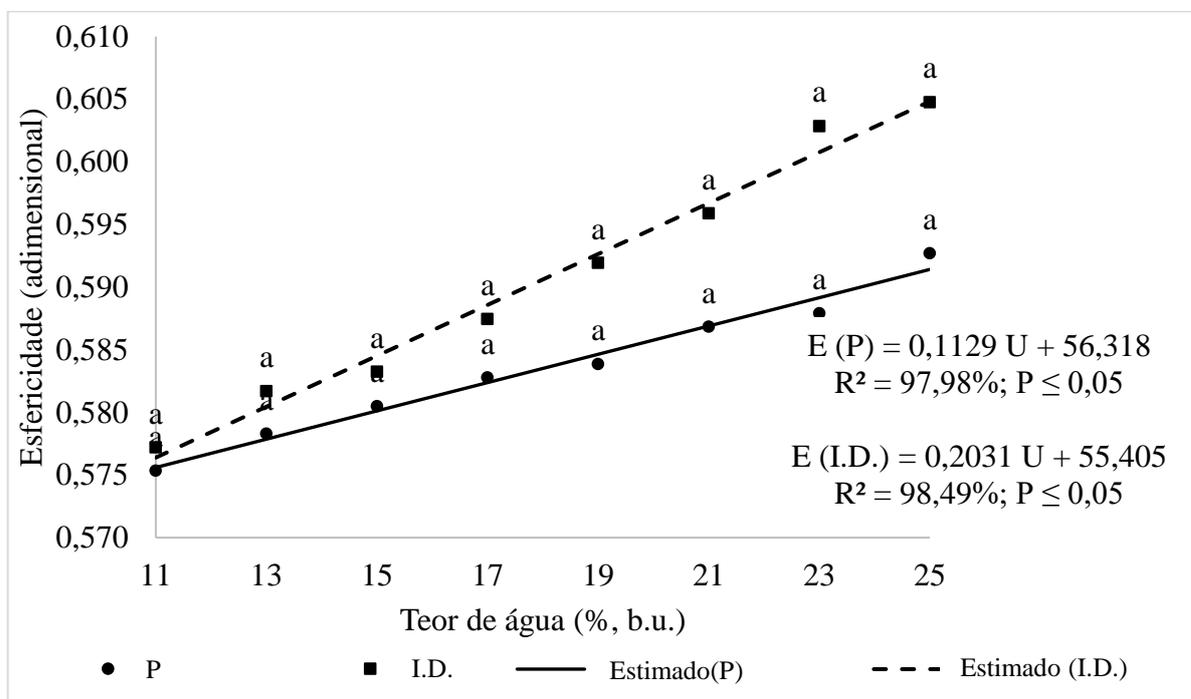


FIGURA 10. Esfericidade (E), obtida pelo método de análise de imagens digitais e pelo paquímetro, em função dos diferentes teores de água (% base úmida), durante a secagem dos grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), da cultivar BRSMG Realce.

Médias seguidas pela mesma letra, para cada teor de água, não diferem estatisticamente pelo teste de t de Student. P- Paquímetro digital; I.D. – Imagens Digitais.

Os dados de esfericidade, mostram valores variando de 0,5927 a 0,5753 para o paquímetro e 0,6047 a 0,5771 para a análise de imagens digitais, com a redução do teor de água de 25 a 11 %. Assim, ambos tiveram a mesma tendência de decréscimo, com a secagem dos grãos de feijão.

Observa-se, na Figura 10, que para todos os teores de água, não houve diferenças entre os métodos, para as médias de esfericidade, pelo teste t de Student. Esse teste comprova que ambas as metodologias de obtenção dos eixos ortogonais dos grãos de feijão podem ser aplicadas sem prejuízos a determinação dessa variável.

A Figura 10, também, mostra os modelos de regressão ajustados aos valores experimentais de esfericidade, em função do teor de água. Ambos os modelos significativos foram lineares com coeficiente de determinação de 97,98% para o paquímetro e 98,49% para a análise de imagens digitais.

Isik e Unal (2007), determinando a esfericidade de grãos de feijão vermelho, verificou um aumento de 0,7340 para 0,7590, com o aumento do teor de água de 10,83% para 24,41%. Comportamento semelhante foi observado nesse trabalho.

Na Figura 11, a circularidade dos grãos de feijão, da cultivar Realce, é representada em função do teor de água, com os diferentes métodos. Para ambas as metodologias empregadas, encontrou-se diferenças ($P < 0,05$).

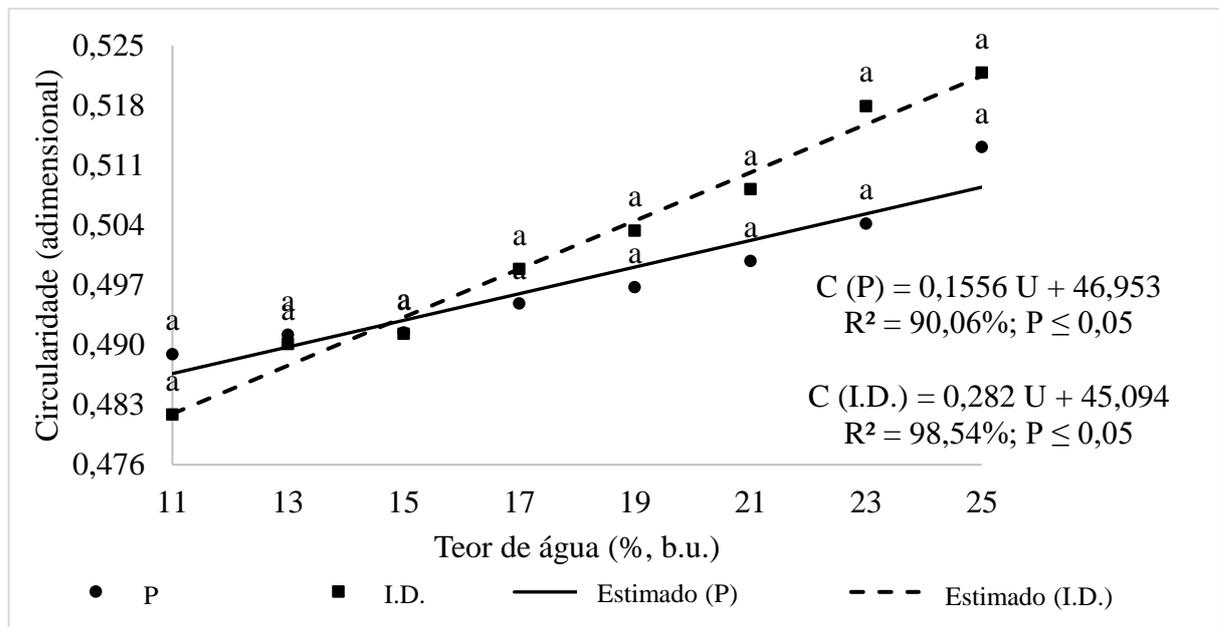


FIGURA 11. Circularidade (C), obtido pelo método de análise de imagens digitais e pelo paquímetro, em função dos diferentes teores de água (% base úmida), durante a secagem dos grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), da cultivar BRSMG Realce.

Médias seguidas pela mesma letra, para cada teor de água, não diferem estatisticamente pelo teste de t de Student. P- Paquímetro digital; I.D. – Imagens Digitais.

Nota-se, na Figura 11, que os valores de circularidade variaram de 0,5131 a 0,4889 para o paquímetro e de 0,5218 a 0,4819 para a análise digital de imagens. Nos teores de água compreendido entre 15 e 13 % os valores estimados se encontram, fato visualizado pela interseção das retas lineares, mostrando que os dados são iguais, independentemente do método empregado. O teste t de Student, expõe que para todos os teores de água, as médias são estatisticamente iguais, à 5% de probabilidade. Assim, como para a esfericidade, a circularidade é diminuída com a secagem do grão.

A Figura 11, ainda, exhibe os modelos de regressão ajustados aos valores experimentais de circularidade, sendo ambos lineares, com coeficientes de determinação de 90,06 e 98,54 % para paquímetro e análise digital de imagens, respectivamente.

Comportamento semelhante para a circularidade e a esfericidade foi encontrado por Guedes et al. (2011), em que essas variáveis diminuíram com o aumento do teor de água, para grãos de soja.

Apesar da circularidade ter apresentado significância, Araújo et al. (2014) relatou que para grãos de amendoim, diferente dos grãos de feijão desse estudo, não houve significância ($P > 0,05$), devido à baixa redução das magnitudes de comprimento e largura durante o processo de secagem. Assim, a circularidade não apresentou tendência definida, na secagem de amendoim.

Essa baixa redução nas dimensões, também foram percebidas por Lanaro et al. (2011), para o feijão fradinho. Eles concluíram que com os teores de água variando de 28,9 a 14,9 % b.u., a esfericidade apresentou uma redução de apenas 6%. Assim, os resultados estão diretamente correlacionados à variação dos eixos ortogonais dos grãos, uma vez que os grãos têm sua peculiaridade de perder massa de água mais significativamente de um eixo, podendo ficar mais esférico, semelhante ao estudo, ou circular.

3.3.2 Massa de 100 grãos

Em relação a massa de 100 grãos, constatou-se o que já era esperado: uma redução da massa conforme diminui o teor de água, como verifica-se na Figura 12. A escolha do modelo linear representou adequadamente os dados, com R^2 de 96,30%.

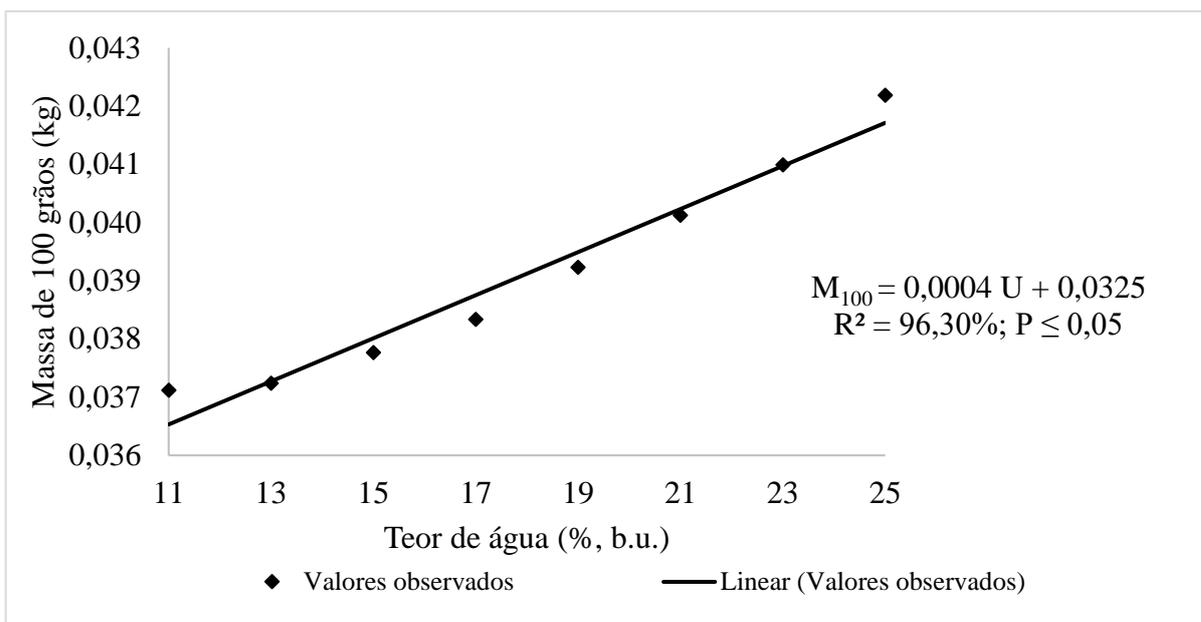


FIGURA 12. Massa de 100 grãos (M_{100}), em kg, de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar BRSMG Realce, submetidos a diferentes teores de água (% , base úmida), durante a secagem.

Nota-se, na Figura 12, que, em média, 12,01% da massa foi perdida durante a secagem dos grãos de feijão de 25 para 11 % b.u. Essa redução é provocada justamente pela retirada de água do produto que ocorre ao longo da secagem. Araujo et al. (2014) relata que durante a secagem ocorre remoção de água influenciando diretamente na redução da massa dos grãos.

Esse processo é primordial para que o grão adquira estabilidade, diminuindo as reações bioquímicas. Carlesso et al. (2009), explica ainda que a secagem atua diretamente na diminuição do metabolismo e na taxa de deterioração, para assim, garantir uma melhor qualidade ao longo do tempo.

Na Figura 12, observa-se ainda, no início da secagem, com 25% de teor de água, que, a massa de 100 grãos encontra-se em média com 0,042 Kg, e com o teor de 11% apresentou a massa de 0,037 kg.

Lanaro et al. (2011), avaliando a massa de 100 grãos de feijão durante a secagem, com teores de água variando de 28,9 a 14,9 % b.u., observaram uma diminuição de 47% dentro desse intervalo analisado. Para outras variedades de feijão, portuguesa PH-75, e espanhola Almonga, Barroso et al. (2007), determinaram a massa de 100 grãos em 0,027 e 0,048 kg.

Isik e Unal (2007), para feijão vermelho encontraram um aumento também linear ($P \leq 0,05$), na massa dos grãos.

3.3.3 Massa específica aparente

A Figura 13, apresenta a massa específica aparente, em função dos teores de água .

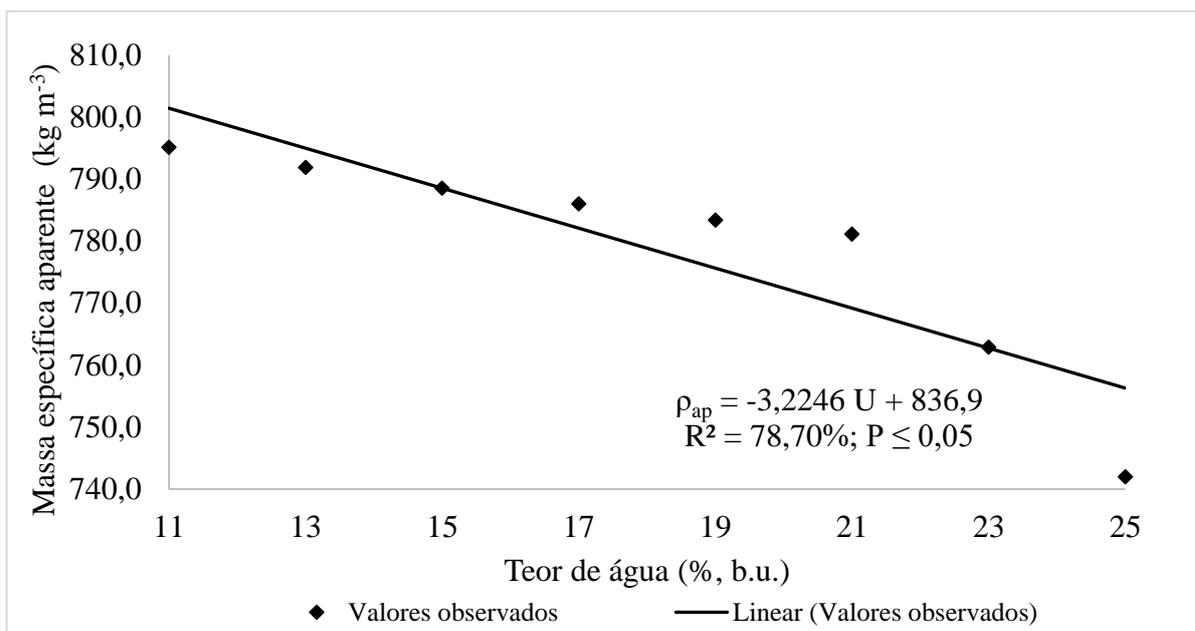


FIGURA 13. Massa específica aparente (ρ_{ap}), em kg m^{-3} , de grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar BRSMG Realce, submetidos a diferentes teores de água (% base úmida) durante a secagem.

Na Figura 13, é mostrado o modelo de regressão ajustado aos valores experimentais de massa específica aparente, em função do teor de água, dos grãos de feijão. Conforme nota-se, o modelo linear ajustado representou a tendência dos dados. No entanto, alguns autores como Botelho et al. (2016), discutem que esse comportamento não é observado em todos os produtos agrícolas, portanto cada produto deve ser estudado e representado. A exemplo, esses autores encontraram para frutos de café robusta, durante a secagem, uma variação quadrática, nos teores compreendidos de 1,55 a 0,131 b.s., com valores respectivos de 632,00 a 506,61 kg m^{-3} .

Observa-se, na Figura 13, que, a massa específica aparente inicial com 741,97 kg m^{-3} (25% b.u. de teor de água) aumentou, em média, 6,68% após atingir o teor de água de 11% b.u., com 795,11 kg m^{-3} . O aumento da massa específica aparente com a diminuição do teor de água, ocorrida durante a secagem, é resultado da redução das dimensões dos grãos (MOTA, 2016).

Avaliando grãos de feijão carioquinha, Guedes (2010), obteve resultados semelhantes aos encontrados nesse experimento. Os valores de massa específica aparente, durante a redução do teor de água de 19,52 a 12,32 % b.u., foram estimados em 750,88 a 774,41 kg m^{-3} , respectivamente.

Entretanto, para alguns produtos agrícolas, há um efeito contraditório com o aumento do teor de água. Normalmente há uma tendência diferenciada encontrada para os grãos de arroz (SOUSA et al., 2016) e de café (BOTELHO et al., 2016) por exemplo, em que as massas

específicas diminuem com a redução do teor de água, por possuírem o tegumento ou parte dele enrijecido (BOTELHO et al., 2016).

Essa distinção para esses grãos, é explicada com a redução do teor de água durante a secagem, há uma maior contração na parte interna dos cotilédones para algumas espécies em relação às suas dimensões externas, que contraem em menor proporção, formando espaços vazios no interior do grão. Assim, o grão terá maior perda de massa (água) do que de volume, permitindo que a relação massa por volume seja reduzida (ARAUJO, 2014). Esse autor, obteve essa conclusão para grãos de amendoim.

Também estudando a influência do processo de secagem, sobre a massa específica aparente, Ruffato et al. (1999), encontrou valores médios para o milho-pipoca de: 768 e 767 kg m⁻³ para as cultivares Zélia e CMS 43 respectivamente, mostrando valores semelhantes, embora apresentem geometrias diferentes a dos grãos de feijão. Em estudos de Botelho et al. (2018), a massa específica aparente para diferentes grãos: arroz, em casca e beneficiado, girassol, feijão, milho e soja correspondia a 531,67 e 820,43; 303,25; 840,57; 768,23 e 727, 30 kg m⁻³.

De modo geral, para baixos valores de massa específica aparente de um produto, já conhecido, representam uma indicação de que os grãos perderam excessivamente sua matéria seca. Entre os motivos para essa redução são às altas temperaturas utilizadas na secagem dos grãos, ou seja, quanto maior for a temperatura, também será a redução da massa específica, independente do estágio de secagem dos grãos (CORADI et al., 2016).

Assim, altos valores de massa específica são desejados, pois sementes com índices maiores são aquelas que possuem maior quantidade de tecidos de reserva, como endosperma e perisperma, além, dos embriões apresentarem melhor formação (CARVALHO e NAKAGAWA, 2000). Assim, essa variável é frequentemente utilizada na comercialização de alguns produtos, como trigo e cevada, uma vez que indica a melhor qualidade do produto (BOTELHO et al., 2016).

No geral, os comportamentos de massa específica aparente e massa específica unitária dos grãos devem ser similares. De acordo com Jesus et al. (2013), durante a secagem de feijão comum, a redução do teor de água, proporcionou maiores valores de massa específica aparente e massa específica unitária, sendo ambos inversamente proporcionais. Portanto, se a massa específica aparente diminuir, com o aumento do teor de água, conseqüentemente, espera-se que, a massa específica unitária apresente a mesma tendência de diminuir, como nota-se a seguir.

3.3.4 Massa específica unitária

A massa específica unitária dos grãos de feijão, cultivar BRSMG Realce, para os diferentes métodos, obtido em função do teor de água, está representado na Figura 14.

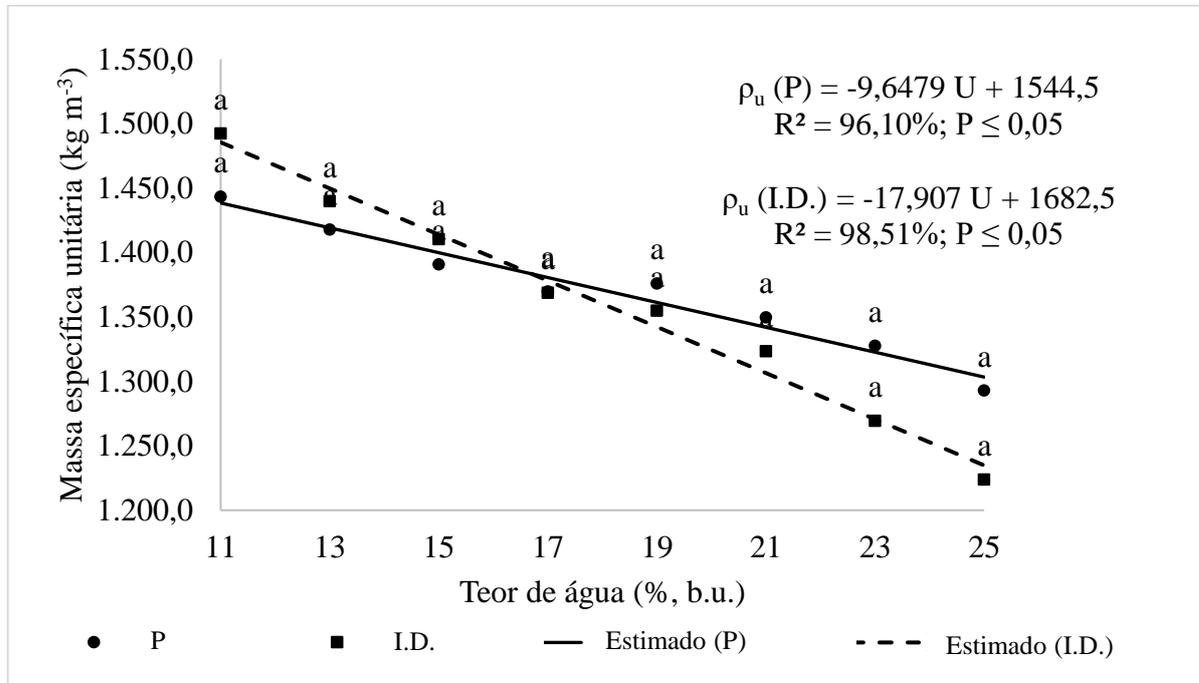


FIGURA 14. Massa específica unitária (ρ_u), em kg m^{-3} , obtido pelo método de análise de imagens e pelo paquímetro, em função dos diferentes teores de água (% base úmida), durante a secagem dos grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), da cultivar BRSMG Realce.

Médias seguidas pela mesma letra, para cada teor de água, não diferem estatisticamente pelo teste de t de Student. P- Paquímetro digital; I.D. – Imagens Digitais.

Os valores de massa específica unitária estão entre 1292,83 a 1443,26 kg m^{-3} , para o paquímetro, reduzindo 10,42% e entre 1223,52 a 1492,27 kg m^{-3} , para a análise de imagens digitais, com redução de 18,01%, com os teores de água compreendidos de 25 a 11%, respectivamente.

Como demonstrado pelo teste t de Student as médias de massa específica unitária são iguais estatisticamente, a 5% de probabilidade, em todos os teores de água estudados. Na Figura 14, no teor de 17%, os modelos estimados se intersectam e apresentam o mesmo valor de massa específica unitária, expondo que essa relação também é igual matematicamente, neste teor.

Resende (2006), relatou que a massa específica unitária, em grãos de feijão comum, diminuiu de 1468 para 1361 kg m^{-3} , com a variação do teor de água de 9,9 para 29,6 % b.u. Esse comportamento é semelhante ao estudado.

Ademais, autores como Botelho et al. (2016) trabalhando com frutos de café observaram que no início do processo de secagem, as massas específicas aparente e unitária apresentaram

tendência semelhante a este estudo, ou seja, aumento dessas propriedades à medida que a água estava sendo removida. Contudo, alguns produtos se diferenciam dessa relação, como as duas variedades de feijão vermelho (Goli e Akhtar), estudadas por Kiane Deh Kiane et al. (2008), em que a massa específica unitária aumentou em função do aumento do teor de água, com uma variação de 1240 para 1299 kg m⁻³ na variedade Goli, e de 1217 para 1240 kg m⁻³ na variedade Akhtar, concernentes aos teores de água de 10 para 20% (b.u.).

3.3.5 Porosidade

Para a porosidade, os dados são apresentados na Figura 15, em função dos teores de água analisados, para ambas as metodologias empregadas.

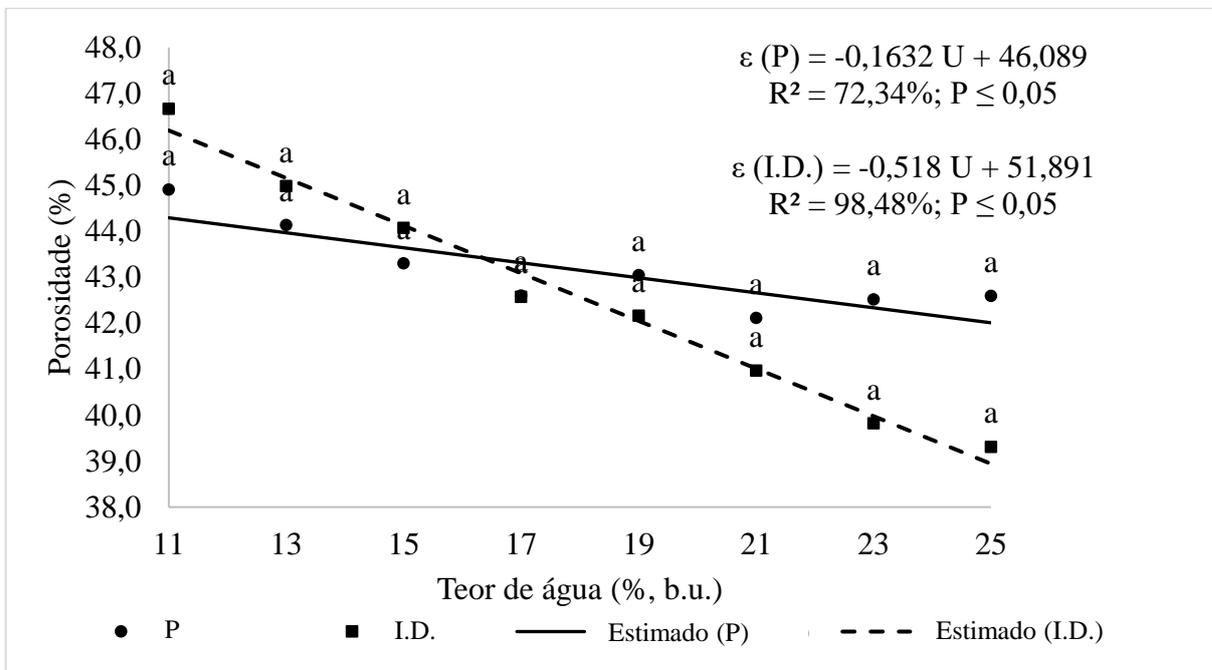


FIGURA 15. Porosidade, em %, obtido pelo método de análise de imagens digitais e pelo paquímetro, em função dos diferentes teores de água (% base úmida), durante a secagem dos grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), da cultivar BRSMG Realce.

Médias seguidas pela mesma letra, para cada teor de água, não diferem estatisticamente pelo teste de t de Student. P- Paquímetro digital; I.D. – Imagens Digitais.

A Figura 15, mostra as equações dos modelos de regressão linear expressos por apresentarem ajuste significativo ($P \leq 0,05$), além de apresentarem melhores coeficientes de determinação (R^2) de 72,34% para paquímetro e de 98,48% para análise de imagens digitais.

Na Figura 15, verifica-se que, a redução do teor de água promoveu um aumento na porosidade dos grãos. No entanto, apesar de ser mais expressiva a redução para o método de

análise de imagens, em média 10% a mais, o teste de t de Student, a 5% de probabilidade não encontrou diferenças entre as médias, para cada teor de água analisado.

Para os grãos em questão, os valores de porosidade encontravam-se em 42,59 e 39,31% no teor de 25% para a medição por paquímetro e por imagens digitais, respectivamente. Com a redução do teor de água para 11% (b.u.), no final da secagem, esses foram para 44,90 (paquímetro) e 46,66 % (imagens digitais). Esse comportamento, é advindo porque o produto estava limitado ao um volume, e possuía uma quantidade de espaços vazios, que com a elevação do teor de água é expandido, e tendeu a ocupar mais o interior daquele recipiente, diminuindo os espaços intergranulares (MATA e DUARTE, 2002).

Para Araújo et al. (2014), a porosidade tem o mesmo comportamento em grãos de amendoim, durante a secagem. A redução das dimensões características dos grãos é promovida pela redução do teor de água, fazendo com que aumenta a porosidade dos grãos.

Outros autores obtiveram conclusões diferentes das relatadas. Para Nelson (2015), teores de água acima de 10% proporcionam que a porosidade aumente com o teor de água. Isik e Unal (2007), para o feijão vermelho encontraram valores alterando de 46,40 para 58,22%, com o aumento do teor de água de 10,83% para 24,41% (b.u.). Todavia, os resultados são dependentes das espécies analisadas.

3.4 CONTRAÇÃO VOLUMÉTRICA

3.4.1 Contração Volumétrica Unitária

Os resultados da contração volumétrica unitária determinada por paquímetro e pela análise de imagens digitais, são representados com os diferentes modelos propostos, na Figura 16.

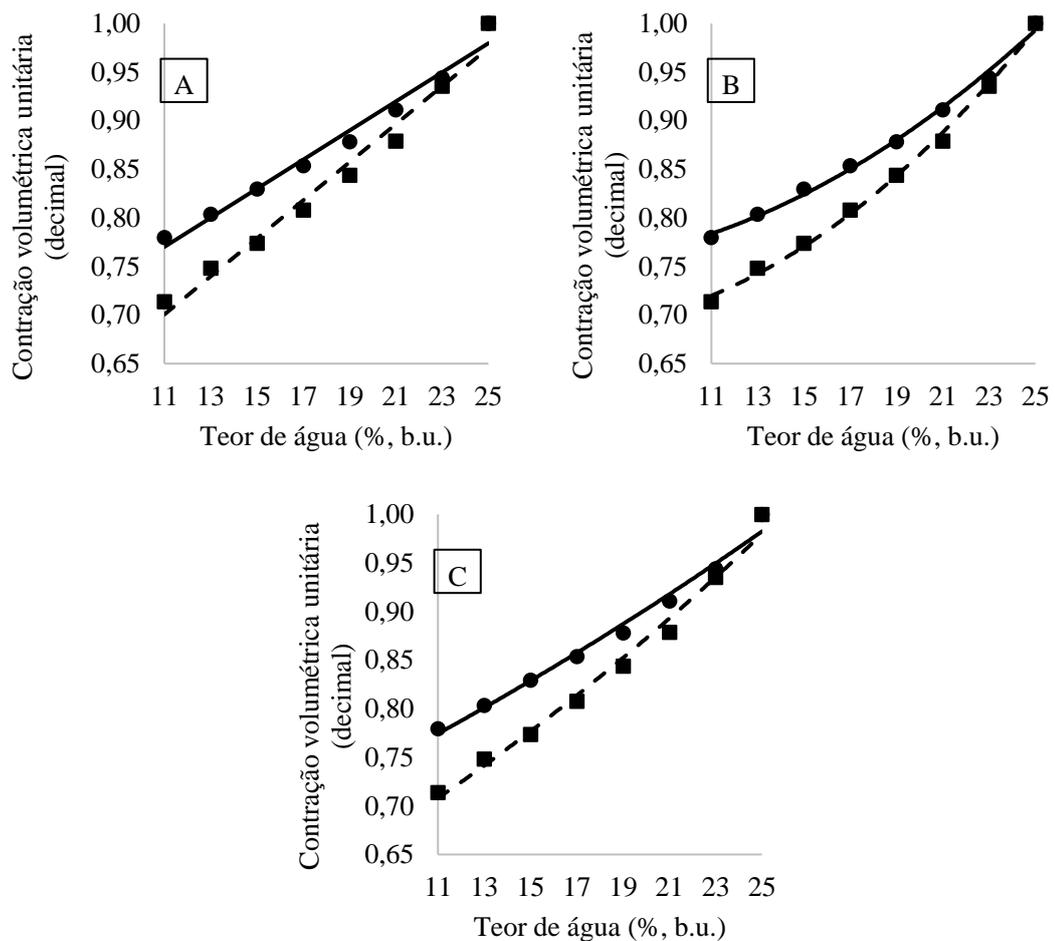


FIGURA 16. Contração volumétrica unitária para os modelos linear (A), polinomial (B), exponencial (C), em função dos diferentes teores de água do feijão, cultivar BRSMG Realce. ● Dados observados pelo método do paquímetro; ■ Dados observados pelo método de análise de imagens digitais; — Dados estimados pelo método do paquímetro; - - - Dados estimados pelo método de análise de digitais.

Observa-se, na Figura 16, que, os dados de contração volumétrica unitária, são mais elevados para o método por imagens digitais. Enquanto, que, no paquímetro a contração volumétrica unitária foi definida em 22,04%, no método de análise de imagens, definiu-se em 28,63%, com a redução do teor de água de 25 a 11 % b.u. O encolhimento dos grãos aumentou conforme o volume de água estava sendo removido. Essa determinação é aconselhável, pois prevê o que acontecerá com o material submetido a desidratação. Para isso, é possível utilizar os modelos que melhor predizem a variação do volume no material (MAYOR e SERENO, 2004).

Os resultados dos modelos aplicados à contração volumétrica unitária dos grãos de feijão, cultivar Realce, com os coeficientes de determinação (R^2 , %), erros médios estimados (SE, decimal) e relativos (P, decimal) em função dos diferentes teores de água estudados, com

os diferentes métodos aplicados (paquímetro e análise de imagens digitais), estão presentes na Tabela 8.

TABELA 8 - Coeficientes de determinação (R^2 , %), erros médios estimados (SE, decimal) e relativo (P, %) para a contração volumétrica unitária de grãos de feijão, cultivar BRSMG Realce, submetida aos diferentes modelos analisados, em função do teor de água, pelos diferentes métodos: paquímetro e análise de imagens digitais.

Método	Modelo	R^2	SE	P
Paquímetro	Linear	97,91	0,0107	0,946
	Polinomial	99,54	0,1057	8,648
	Exponencial	98,81	0,0086	0,703
Imagens Digitais	Linear	97,71	0,0147	1,396
	Polinomial	99,66	0,0879	6,811
	Exponencial	98,92	0,0107	0,936

Verifica-se, na Tabela 8, que, os 3 modelos utilizados para a contração volumétrica unitária dos grãos de feijão, em função do teor de água, apresentaram elevados valores de coeficientes de determinação (R^2), acima de 97,71% para ambas as metodologias empregadas. Apresentaram, ainda, valores inferiores a 0,1057 e 0,0879 de erros médios estimados para as respectivas metodologias por paquímetro e análise digital de imagens. Em relação ao erro médio relativo, têm-se valores inferiores a 8,648% para o paquímetro e 6,811% para o método de análise de imagens digitais.

Dessa forma, o modelo escolhido para essa contração é o exponencial, independente da metodologia empregada para a avaliação dos grãos de feijão. Entretanto, quando se busca a simplicidade, a facilidade de manejo, e resultados considerados satisfatórios, o modelo linear também pode ser indicado. Independentemente do método empregado, o resultado foi similar.

Observa-se, na Figura 16, que inicialmente, o grão tende a perder mais volume. Nos teores de 25 para 23 % (b.u.), notou-se uma contração de 5,6 e 6,5% para as medições por paquímetro e imagens, respectivamente. Posteriormente, continuando a secagem de 23 para 21 % (b.u.), os grãos reduziram o volume em 3,3 e 5,6%, correspondentes ao paquímetro e as imagens, com a mesma variação de 2% de água. Assim, a tendência de contrair, em geral, foi diminuindo seguindo a redução de um teor de água para outro. Koua et al. (2019), explica que essa tendência se relaciona com o coeficiente de encolhimento que aumenta com a diminuição do teor de água.

Para Gomes et al. (2018), estudando o volume de grão de feijão-caupi, em função do teor de água, perceberam que o volume contraiu linearmente 11,06% com a variação do teor de água de 23 para 12 % (b.u.). Com as variações existentes, no teor de água, o grão durante a secagem passa pelo processo de desorção e no umedecimento pelo processo de adsorção. Em ambos, as dimensões dos grãos serão afetadas, e o volume influenciado, sendo que, o aumento do teor de água ocasionará a expansão ou a redução do teor a contração volumétrica dos grãos (GOMES et al., 2018). Tais afirmações foram observadas com Koua et al. (2019), que obtiveram curvas de encolhimento linear, na secagem do cacau.

Yadollahinia et al. (2009), estimando o encolhimento, ao longo da secagem, de batatas com a captura de imagens digitais, obteve mudanças também visualmente óbvias, observadas pelo encolhimento do tamanho da fatia e da forma, que se tornou mais irregular. As alterações indicaram que quanto menor o teor de água das batatas, menor era a área de encolhimento. Presume-se que quanto maior o teor de água, a estrutura se encontra suficientemente elástica para encolher. Com a secagem do produto, as fatias ficam mais rígidas, e isso provoca a diminuição da área de encolhimento.

Assim, Araújo (2013), expõe ainda, ser urgente caracterizar o comportamento da água adsorvida, a fim de avaliar detalhadamente as pequenas estruturas dos alimentos e entender os fenômenos físicos ocorridos na superfície dos diferentes materiais.

3.4.2 Contração Volumétrica da Massa

Os resultados da contração volumétrica da massa determinada por paquímetro e pela análise de imagens digitais, são representados com os diferentes modelos propostos, na Figura 17.

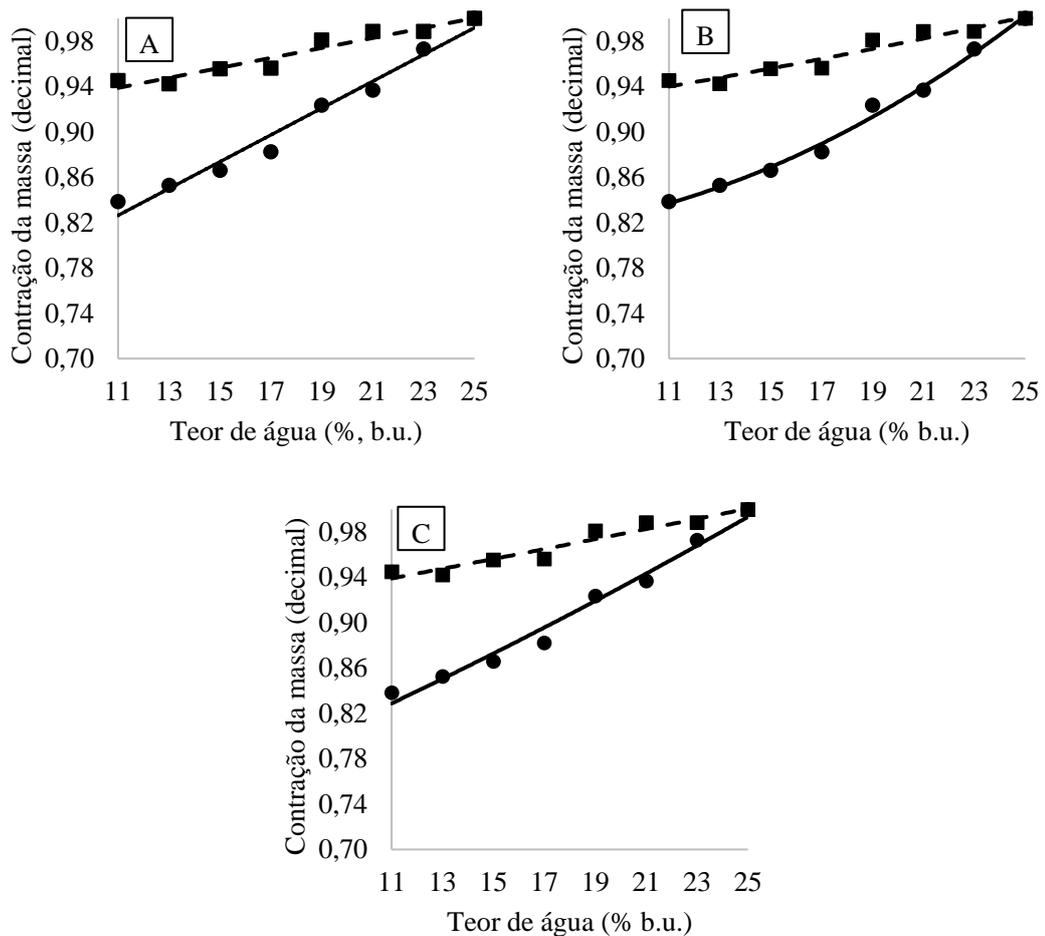


FIGURA 17. Contração volumétrica da massa para os modelos linear (A), polinomial (B), exponencial (C), em função dos diferentes teores de água do feijão, cultivar BRSMG Realce. ●Dados observados pelo método do paquímetro; ■Dados observados pelo método de análise de imagens digitais; —Dados estimados pelo método do paquímetro; ----Dados estimados pelo método de análise de imagens digitais.

Ressalta-se, na Figura 17, que, os dados de contração volumétrica da massa, são superiores para o método do paquímetro. Enquanto, que, no paquímetro a contração volumétrica da massa foi definida em 16,16%, no método de análise de imagens, definiu-se em 5,49%, diferença de 10,67% nos métodos, para uma redução do teor de água de 25 para 11%.

Na Tabela 9, estão os resultados dos modelos aplicados à contração volumétrica da massa dos grãos de feijão, cultivar BRSMG Realce, com os coeficientes de determinação (R^2 , %), erros médios estimados (SE, decimal) e relativos (P, decimal) em função dos diferentes teores de água estudados, com os diferentes métodos aplicados (paquímetro e análise de imagens digitais).

TABELA 9 - Coeficientes de determinação (R^2 , %), erros médios estimados (SE, decimal) e relativo (P, %) para a contração volumétrica da massa de grãos de feijão, cultivar BRSMG Realce, submetida aos diferentes modelos analisados, em função do teor de água, pelos diferentes métodos: paquímetro e análise de imagens digitais.

Método	Modelo	R^2	SE	P
Paquímetro	Linear	97,54	0,0092	0,857
	Polinomial	99,17	0,0097	0,828
	Exponencial	98,02	0,0081	0,777
Imagens Digitais	Linear	93,13	0,0059	0,490
	Polinomial	93,26	0,0058	0,472
	Exponencial	93,10	0,0059	0,475

Na Tabela 9, os modelos utilizados para a contração da massa dos grãos de feijão, em função do teor de água, apresentaram elevados valores de coeficientes de determinação (R^2), acima de 93,10% para a análise de imagens digitais e de 97,54% para o paquímetro. Ainda, apresentaram, valores inferiores a 0,0097 e 0,0059 de erros médios estimados para as respectivas metodologias por paquímetro e análise digital de imagens. Já, em relação, ao erro médio relativo, têm-se valores inferiores a 0,857% para o paquímetro e 0,490% para o método de análise de imagens digitais.

Dessa forma, indica-se o modelo polinomial para a metodologia de análise de imagens digitais, para a contração da massa. Com o paquímetro, o melhor modelo pelos valores dos parâmetros é o exponencial. Contudo, resultados também considerados satisfatórios, foram obtidos para o modelo polinomial neste método de medição. Assim, os métodos empregados, podem ter o mesmo modelo como resultado.

A contração volumétrica da massa de grãos é um parâmetro que precisa ser analisado, pois durante a secagem há a formação de espaços vazios no interior dos secadores, gerando assim, uma maior passagem de ar quente nestes locais, que potencializam os riscos de incêndio. Essa contração nos grãos é resultado da diminuição do tamanho do tecido celular ocorrida durante a redução de água (SMANIOTTO et al., 2017).

Yuan et al. (2019) explicam que a tensão de água existente no interior do produto é um dos fatores determinantes que possibilitam o encolhimento e a deformação. Assim, com o processo de secagem em andamento, a taxa de diminuição do produto agrícola torna-se mais suave, fazendo com que o gradiente de perda se torne menor.

De modo geral, a contração volumétrica é observada para os produtos agrícolas durante a secagem, até os teores de água recomendados no armazenamento (Botelho et al., 2016).

4. CONCLUSÕES

Nas condições em que foi desenvolvido este trabalho pode-se concluir:

- A análise de imagens é um método viável na medição dos eixos ortogonais de grãos de feijão BRSMG Realce, durante a secagem.
- A redução do teor de água de 25 para 11% (b.u.), durante a secagem de grãos de feijão, reduziu de forma significativa ($P \leq 0,05$) as variáveis: esfericidade, circularidade e massa de 100 grãos, nos diferentes métodos de medição.
- A redução do teor de água proporcionou o aumento da massa específica aparente, massa específica unitária e porosidade ($P \leq 0,05$), nos diferentes métodos de medição.
- A contração volumétrica unitária dos grãos ajustou-se ao modelo exponencial, em ambas medições.
- A contração da massa ajustou-se ao modelo polinomial para I.D. e exponencial para medição por paquímetro.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFONSO JUNIOR, P.C.; CORREA, P.C.; ANDRADE, E.T. Análise da variação das propriedades físicas e contração volumétrica dos grãos de milheto (*Pennisetum glaucum*) durante o processo de dessecamento. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.25, n.1, p.15-21, 2000.
- ALVES, A.C.; LIN, H.S. Tipo de embalagem, umidade inicial e período de armazenamento em sementes de feijão. **Scientia Agraria**, Paraná, v.4, n.1-2, p.21-26, 2003.
- ARAUJO, W.D. **Caracterização física dos grãos e frutos de amendoim durante a secagem**. 2013. 96p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2013.
- ARAUJO, M.M.V. **Indicadores de qualidade em grãos de soja submetidos a diferentes condições de armazenamento**. 2014. 84p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2014.
- ARAUJO, W.D.; GONELI, A.L.D.; SOUZA, C.M.A.; GONÇALVES, A.; VILHASSANTI, H.C.B. Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.3, p.279-286, 2014.
- BARROSO, M.R.; MAGALHÃES, M.J.; CARNIDE, V.; MARTINS, S.; VEGAS, C.A.; CACHÓN, M.R. **Caracterização e avaliação de diferentes espécies de leguminosas grão na região de Trás-os-Montes**. Mirandela: Direcção Regional de Agricultura e Pescas do Norte (DRAPN), 2007. 65p. (Coleção Uma Agricultura com Norte).
- BOTELHO, F.M.; CORREA, P.C.; BOTELHO, S.C.C.; VARGAS-ELIAS, G.A.; ALMEIDA, M.D.S.D.; OLIVEIRA, G.H.H. Propriedades físicas de frutos de café robusta durante a secagem: determinação e modelagem. **Coffee Science**, Lavras, v.11, n.1, p.65-75, 2016.
- BOTELHO, F.M.; FARIA, B.M.E.M.; BOTELHO, S.C.C.; RUFFATO, S.; Metodologias para determinação de massa específica de grãos. **Revista Agrarian**, Dourados, v.11, n.41, p.251-259, 2018.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA, 2009. 395p.
- CAMARGO, Â. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Campinas, v.5, n.1, p.87-97, 1997.
- CAMPOS-VEGA, R.; BASSINELLO, P.Z.; SANTIAGO, R.A.C.; OOMAH, B.D. 2018. **Dry Beans: Processing and Nutritional Effects**. Therapeutic, Probiotic, and Unconventional Foods, cap.25, 2018. p.367-386.
- CARLESSO, V.O.; BERBERT, P.A.; SILVA, R.F.; THIEBAUT, J.T.L.; OLIVEIRA, M.T.R.; Germinação e vigor de sementes de mamão (*Carica papaya* L.) cv. Golden secadas em altas temperaturas. **Revista Brasileira de Sementes**, v.31, n.2, p.228-235, 2009.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000, 588p.

CHARYTANOWICZA, M.; KULCZYCKI, P.; KOWALSKI, P.A.; LUKASIK, S.; CZABAK-GARBACZ, R. An evaluation of utilizing geometric features for wheat grain classification using X-ray images. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.144, n.1, p.260-268, 2018.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira; Monitoriamento agrícola, sexto levantamento, março 2019 / Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab, 2019b. 149p.

CORADI, P.C.; MILANE, L.V.; ANDRADE, M.G.O.; CAMILO, L.J.; SOUZA, A.H.S. Secagem de grãos de milho do cerrado em um secador comercial de fluxos mistos. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v.10, n.1, p.14-26, 2016.

CORREA FILHO, L.C.; ANDRADE, E.T.; MARTINAZZO, A.P.; D'ANDREA, E.M.; SOUZA, F.A.; FIGUEIRA, V.G. Cinética de secagem, contração volumétrica e análise da difusão líquida do figo (*Ficus carica* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n.8, p.797–802, 2015.

CORRÊA, P. C.; AFONSO JÚNIOR P. C.; QUEIROZ, D. M. de.; SAMPAIO, C. P.; CARDOSO, J. B. Variação das dimensões características e da forma dos frutos de café durante o processo de secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p.466-470, 2002.

CORREA, 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, v.10, n.3, p.665–670, 2005.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa Arroz e Feijão. Catálogo de cultivares de feijão comum. Santo Antônio de Goiás: Embrapa, 2013. 24p.

FERREIRA, D.F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.6, p.1039-1042, 2014.

GALLON, R.A. **Desenvolvimento e avaliação de um sistema para classificar grãos de culturas anuais por processamento de imagem digital**. 2012. 76p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2012.

GODOY, L.J.G.; YANAGIWARA, R.S.; VILLAS BÔAS, R.L.; BACKES, C.; LIMA, C.P. Análise da imagem digital para estimativa da área foliar em plantas de laranja “pêra”. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.29, n.3, p.420-424, 2007.

GOIÁS. **Clima**. 2018, Goiás. Disponível em: <<http://www.goias.gov.br/paginas/conheca-goias/aspectos-fisicos/clima>> Acesso em: 01 jun. 2018.

GOMES, F.H.F.; LOPES FILHO, L.C.; OLIVEIRA, D.E.C.; RESENDE, O.; SOARES, F.A.L. Tamanho e forma de grãos de feijão-caupi em função de diferentes teores de água. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.26, n.5, p.407-416, 2018.

GONELLI, A.L.D.; CORREA, P.C.; MAGALHAES, 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.

GONZALES, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento de imagens digitais**. Ed. Edgard Blücher – LTDA, São Paulo - SP, 2000.

GOOGLE EARTH. **Google Earth Pro**. Disponível em: <<https://www.google.com/intl/pt-BR/earth/desktop/>>. Acesso em: 03 abr. 2018.

GRANITO, P. M.; NAVONE, H. D.; VERDES, P. F.; CECCATTO, H. A. Weed seeds identification by machine vision. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.33, p.91-103, 2002.

GUEDES, M.A. **Características físicas de grãos utilizando processamento digital de imagens**. 2010. 376p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

GUEDES, M.A.; MATA, M.E.R.C.M.C.; DUARTE, M.E.M.; FARIAS, P.A. Caracterização física de grãos de soja utilizando-se processamento digital de imagens. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.13, n.3, p.279-294, 2011.

ISIK, E.; UNAL, H. Moisture-dependent physical properties of white speckled red kidney bean grains. **Journal of Food Engineering**, v.82, n.1, p.209–216, 2007.

JESUS, F.F.; SOUZA, R.T.G.; TEIXEIRA, G.C.S.; TEIXEIRA, I.R.; DEVILLA, I.A. Propriedades físicas de sementes de feijão em função de teores de água. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.21, n.1, p.9-18, 2013

KHATCHATOURIAN, O. A.; SAVICKI, D. L. Mathematical modelling of airflow in an aerated soya bean store under non-uniform conditions. **Biosystems Engineering**, v.88, n.2, p.201-211, 2004.

KIANE DEH KIANI, M.; MINAEI, S.; MAGHSOUDI, H.; GHASEMI VARNAMKHASTI, M. Moisture dependent physical properties of red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grains. **International Agrophysics**, v.22, n.1, p.231-237, 2008.

KILIC, K.; BOYACI, I.H.; KOKSEL, H.; KUSMENOGLU, I. A classification system for beans using computer vision system and artificial neural networks. **Journal of Food Engineering**, v.78, n.3 p.897–904, 2007.

KNOB, A.H. **Aplicação do processamento de imagens digitais para análise da anisotropia da massa de grãos**. 2010. 71p. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2010.

- KOC, A.B. Determination of Watermelon volume using ellipsoid approximation and image processing. **Journal of Postharvest Biology and Technology**, v.45, p.366 – 371, 2007.
- KOUA, B.K.; KOFFI, P.M.E.; GBAHA, P. Evolution of shrinkage, real density, porosity, heat and mass transfer coefficients during indirect solar drying of cocoa beans. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v.18, n.1, p.72–82, 2019.
- KUMAR, A.; MATHEW, A. Method for estimating the surface area of ellipsoidal food materials. **Biosystems Engineering**, v.85, p.1–5, 2003.
- KUO, T.Y.; CHUNG, C.L.; CHEN, S.Y.; LIN, H.A.; KUO, Y.F. Identifying rice grains using image analysis and sparse-representation-based classification. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.127, n.1, p.716–725, 2016.
- LANARO, N.D.; BAJAY, L.G.; QUEIROZ, V.M.P.; PINTO, R.C.S.; LEITÃO, I.G.A.; LESSIO, B.C.; AUGUSTO, P.E.D. Determinação de propriedades físicas do feijão fradinho. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.13, n.1, p.27-35, 2011.
- MATA, M.E.R.M.C.; DUARTE, M.E.M. Porosidade intergranular de produtos agrícolas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.1, p.79-93, 2002.
- MAYOR, L.; SERENO, A.M. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. **Journal of Food Engineering**, v.61, n.1, p.373-386, 2004.
- McCORMAC, Q.C.; KEFFE, P.D.; DRAPER, R.S. Automated vigour testing of field vegetables using image analysis. **Seed Science and Technology**, Zurich, v.18, n.1, p. 103-112, 1990.
- MOHSEIN, N.N. **Physical properties of plant and animal materials**. Gordon and Breach Publishers, New York, 1986. 841p.
- MOTA, D.H. **Propriedades físicas durante a secagem e qualidade tecnológica em cultivares de feijão carioca em diferentes condições de armazenamento**. 175p. 2016. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- NELSON, S.O. **Closely related physical properties data for grain and seed**. Chapter 16. Dielectric Properties of Agricultural Materials and Their Applications, 2015. p.247-264.
- OMOBUWAJO, O.T., AKANDE, A.E., SANNI, A.L., 1999. Selected physical, mechanical and aerodynamic properties African Breadfruit (*Treculia africana*) seeds. **Journal of Food Eng.**, v.40, n.1, p.241–244, 1999.
- ONWUDE, D.I.; HASHIM, N.; ABDAN, K.; JANIUS, R.; CHEN, G. Combination of computer vision and backscattering imaging for predicting the moisture content and colour changes of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) during drying. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.150., n.1, p.178-187, 2018.
- PAREDES-ORTA C.A.; MENDIOLA-SANTIBAÑEZ, J.D.; MANRIQUEZ-GUERRERO, F.; TEROL-VILLALOBOS, I.R. Method for grain size determination in carbon steels based on the ultimate opening. **Measurement**, v.133, n.1, p.193–207, 2019.

PARK, M.; JIN, J. S.; AU, S. L.; LUO, S.; YUE, C. Automated defect inspection systems by pattern recognition. **International Journal of Signal Processing**, v.2, n.2, p.31-42, June 2009.

PESKE, S.T. Secagem de sementes. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, FAEM,1991. 65p.

PINTRO, F. **Análise morfológica dos eritrócitos nas doenças hematológicas através da aplicação de redes neurais artificiais no processamento de imagens digitais**. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática), Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2008.

POMPEU, A.S. Melhoramento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). In: **Feijão fatores de produção e qualidade**, Coord. E.A. BULISANI, Campinas: Fundação Cargill, p.1-28, 1987.

PUZZI, D. **Abastecimento e armazenagem de grãos**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. 1986. 603p.

RESENDE, O. **Variação das propriedades físicas e mecânicas e da qualidade do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) durante a secagem e o armazenamento**. 2006. 197p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

RUFFATO, S.; CORREA, P.C.; MARTINS, J.H.; MANTOVANI, B.H.M.; SILVA, J.N. Influência do processo de secagem sobre a massa específica aparente, massa específica unitária e porosidade de milho-pipoca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.1, p.45-48, 1999.

SANKARAN, S.; WANG, M.; VANDEMARK, G.J. Image-based rapid phenotyping of chickpeas seed size. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, Amesterdã, v.9, n.1, p.50-55, 2016.

SATHE, S.K. Beans: Overview. **The legumes and pseudocereals**. 297-306p. 2016.

SHAHIN, M. A.; SYMONS. S. J. Seed sizing from images of non-singulated grain samples. **Canadian Biosystems Engineering**, Winnipeg, v.47, p.3.49-3.55 2005.

SIDDIQUE, K.H.M. Chickpea: Agronomy. **Encyclopedia of Food Grains: 2º Ed. Agronomy of grain growing**. 2016. p.216-222.

SILVA, O.F.; WANDER, A.E. **O Feijão-Comum no Brasil: Passado, Presente e Futuro**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2013. (Documentos 287) 61p.

SMANIOTTO, T.A.S.; RESENDE, O.; OLIVEIRA, D.E.C.; SIQUEIRA, V.C.; SOUSA, K.A. Ajuste de modelos matemáticos a contração volumétrica unitária e da massa dos grãos de soja. **Revista Agro@mbiente On-line**, v.9, n.4, p.397-404, 2017.

SMOOK, G.A.; **Handbook for Pulp and Paper Technologists**. Tappi Press: Atlanta, 1989.

SOUSA, R.V.; MATA, M.E.R.M.C.; DUARTE, M.E.M.; ALMEIDA, R.D.; ROSA, M.E.C.; SOUSA, A.C. Influência do teor de água nas propriedades físicas dos grãos de arroz vermelho

em casca. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.18, n.Especial, p.495-502, 2016.

WEBER, E.A. **Excelência em beneficiamento e armazenagem de grãos**. Porto Alegre: Ed. la Salle, 1ªed. 2005, 586p.

WILLMONT, C.J. On the validation of models. **Physical Geography**, Palm Beach, v.2, n.2, p.184-194, 1981.

YADOLLAHINIA, A.; LATIFI, A.; MAHDAVI, R. New method for determination of potato slice shrinkage during drying. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.65, n.1, p.268–274, 2009.

YANG, Q.; SHI, L.; HAN, J.; ZHA, Y.; ZHU, P. Deep convolutional neural networks for rice grain yield estimation at the ripening stage using UAV-based remotely sensed images. **Field Crops Research**, Wuhan, v.235, n.1, p.142-153, 2019.

YUAN, Y.; TAN, L.; XU, Y.; YUAN, Y.; DONG, J. Numerical and experimental study on drying shrinkage-deformation of apple slices during process of heat-mass transfer. **International Journal of Thermal Sciences**, v.136, n.1, p.539-548, 2019.

APÊNDICE

```

clear
clc
%Programa para a determinação dos eixos ortogonais "a", "b" e "c"
%que correspondem respectivamente ao comprimento, largura e espessura do grão.
disp('-----');
disp('Programa para a determinação dos eixos ortogonais "a", "b" e "c");
disp('A imagem deve ser 2D, com o grão alocado nas suas duas posições natural e horizontal,
a fim de obter os diferentes eixos, cada imagem foi tratada separadamente');
disp('
');

%Fará a leitura do arquivo da imagem dos grãos localizada no arquivo do computador:
imagem=imread('/Users/Bianca/SkyDrive/Imagens/Artigo/Imagem.jpg');
%Nesse modelo de arquivo a imagem estava localizada na nuvem, portanto deve-se verificar
a localização de cada arquivo para tratar a imagem.
figure (1),imagesc(imagem);
%Nessa função se exige a imagem;
I = rgb2gray(imagem);
%Essa é uma etapa necessária para deixar a imagem em níveis de cinza.
%A imagem colorida passa a ficar em 256 níveis de cinza.
%De 0 a 255, ou seja, do preto ao branco.
figure(2),imshow(I), axis image, colorbar;
%fará com que a imagem em tons de cinza seja exibida;
title('Imagem em escala de cinza');
%essa função irá mostrar, na imagem, o título;
%Ao passar o cursor do teclado informa sobre todos os pixels da imagem:
impixelinfo;

%função do matlab para criação do histograma para verificar os níveis de cinza:
figure(3),imhist(imagem)
%essa função é necessária para quantificar como estão distribuídos a tonalidade dos pixels,
para se fazer os devidos ajustes.
title('Histograma da Imagem');

%Conversão para imagem binária;
%exige diferentes formas;
%há a sugerida pelo próprio software;
normalizedThresholdValue = 0.4;
%o numero pode ser reajustado;
thresholdValue = normalizedThresholdValue * max(max(I));
ImagemBinaria = im2bw(I, normalizedThresholdValue);
figure (4),imagesc(ImagemBinaria), axis image, colormap gray;
%level=mean(I(:))/double(max(I(:)));
%figure (4), imagesc(I/max(I(:))>level), axis image, colormap gray
%Há também o resultado de outra segmentação:
% binaria=im2bw(I,level);
% figure (5), imagesc(binaria), axis image, colormap gray

%Permite interação na tela, para remover objetos:

```

```

ImagemBinaria = imfill(ImagemBinaria);
%no caso da imagem apresentar distorções, devido a tonalidade dos pixels da imagem.

%O próximo processo irá facilitar os comandos.
%Em um laço de repetição, a identificação dos grãos começa a ser tratada.
%Os pixels que apresentarem a cor branca irão fazer parte da composição dos grãos na
imagem.
%Para que os pixels pretos fiquem brancos
% e para que os pixels brancos fiquem pretos.
%A imagem á transformada em binária irá ser percorrida em toda sua dimensão.
[c,d]=size(ImagemBinaria);
for i=1:c
    for j=1:d
        if ImagemBinaria(i,j)==0
            ImagemBinaria(i,j)=1;
        else
            ImagemBinaria(i,j)=0;
        end
    end
end

end
%Para preenchimento dos espaços da imagem binária:
ImagemBinaria = imfill(ImagemBinaria,'holes');
figure (5),imagesc(ImagemBinaria), axis square, colormap gray;
%Ao passar o cursor do teclado têm-se informação sobre todos os pixels da imagem:
impixelinfo;
%Retorna as propriedades medidas 'all' (área, perímetro, ...,
%orientação na imagem, comprimento maior, comprimento menor)
%para cada componente conectado a 8 (objeto) na imagem binária:

%Etapa para definição de limitação de cada grão.
%Identificação dos objetos.
L=bwlabel(ImagemBinaria,8);
stats= regionprops(L, I, 'all');
num = size (stats, 1);
hold on;

% Limites da região de traço na imagem binária:
% Retorna uma matriz de células com as localizações de objetos em pixels.
%Função do software utilizado.
limites=bwboundaries(ImagemBinaria);
numLim = size(limites);
for k = 1:numLim
    limite = limites{k};
    plot(limite(:,2), limite(:,1), 'g', 'LineWidth', 2);
end
hold off;

%Determina os valores em pixels dos objetos, com o comprimento maior e menor
%É criado um laço para percorrer cada objeto identificado no algoritmo.

```

```
%O laço é do primeiro objeto até o último identificado;
for o = 1:numLim
    s = regionprops (ImagemBinaria, 'Orientation' , 'MajorAxisLength' , 'MinorAxisLength');
end
% Apos ter percorrido o laço, o algoritmo cria uma lista de dados
% A lista de dados vem com as informações de orientação, e de tamanho do maior eixo e
menor eixo.
% Agora converta o valor dos pixels para "mm".
% Nesse estudo foi utilizado um material de referência, para definir o padrão da quantidade de
pixels, na conversão.
```

**CAPÍTULO 2: ESTUDO DA QUALIDADE FÍSICA DE GRÃOS DE BICO 'BRS
CRISTALINO' ARMAZENADOS EM DIFERENTES EMBALAGENS**

RESUMO

O grão de bico é um produto com um mercado interno limitado, e para incentivar e expandir o seu consumo e produção, novos estudos devem ser realizados com este produto de forma que mantenha a sua qualidade por um longo tempo. Assim, objetivou-se estudar a qualidade de grãos de bico 'BRS Cristalino' durante o armazenamento em diferentes embalagens. No estudo da qualidade dos grãos de bico, o experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x5, sendo constituídos por duas embalagens: papel Kraft e sacos plásticos de polietileno de baixa densidade, analisadas durante cinco tempos de armazenamento: 0, 30, 60, 90 e 120 dias, com avaliações a cada 30 dias. O produto foi mantido em condição ambiente, para o período de outubro a março (primavera-verão). Nesse período foram determinadas as propriedades físicas: massa específica aparente e unitária, porosidade, massa de 100 grãos, variação da massa, coloração (luminosidade, ângulo hue e croma), além da compressão uniaxial dos grãos. O experimento foi realizado no Laboratório de Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas, da Universidade Estadual de Goiás, em Anápolis-GO. Durante o tempo de armazenamento, o grão de bico foi influenciado pelas condições atmosféricas do local, alterando seu teor de água inicial e as demais análises realizadas. A embalagem de papel Kraft no período analisado, apresentou melhores resultados em relação a embalagem plástica de polietileno de baixa densidade, com valores mais elevados de massa específica aparente, maior luminosidade e croma. A variação de massa, no entanto foi maior para o papel Kraft. A massa específica unitária e a porosidade dos grãos de bico não apresentaram diferenças em nenhum dos fatores avaliados. A compressão uniaxial dos grãos apresentou, um comportamento quadrático, com maior resistência ao final do período de armazenamento, independente da embalagem utilizada. A embalagem de papel Kraft apresentou um melhor desempenho em relação a coloração.

Palavras-chave: *Cicer arietinum* L. Papel Kraft. Polietileno de baixa densidade.

ABSTRACT

Chickpea is a product with limited domestic market, and to promote and expand its consumption and production, further studies must be conducted with this product in order to maintain its quality for a long time. This is study the quality of 'BRS Cristalino' chickpeas during storage in different packages. In the study of chickpea quality or the experiment was conducted in a randomized design, in a 2x5 factorial scheme, consisting of two packages: Kraft paper and low density polyethylene bags, analyzed during five times of use: 0, 30, 60, 90 and 120 days, with estimates every 30 days. The product was kept under environmental conditions, from October to March (spring-summer). During this period, the following characteristics were used: apparent and unit specific mass, porosity, 100 grain mass, mass variation, coloration (luminosity, hue angle and chroma), as well as uniaxial grain compression. The experiment was carried out at the Agricultural Products Drying and Storage Laboratory, at Goiás State University, in Anapolis-GO. During the storage time, the chickpeas were influenced by the atmospheric conditions of the place, changing its initial water content. Kraft paper packaging in the period analyzed presents the best results compared to low density polyethylene plastic packaging, with higher values of apparent density, higher brightness and chroma. A variation in mass, however, was greater for Kraft paper. A unit specific mass and a porosity of chickpeas do not differ in the reduction factors. The uniaxial compression of the grains shown, the quadratic behavior, with greater resistance to the end of the storage period, regardless of the packaging used. Kraft paper packaging has better coloring performance.

Keywords: *Cicer arietinum* L. Kraft paper. Low density polyethylene.

1. INTRODUÇÃO

O grão de bico (*Cicer arietinum* L.) é originário da região do Oriente Médio, mais precisamente no Sudeste da Turquia (Ásia menor), cultivado a cerca de 5.450 anos a.C., nas proximidades da Síria. Difundida na Índia e Europa, na antiguidade, a cultura já era conhecida pelos antigos egípcios, hebreus e gregos (AVELAR, 2016).

A cultura do grão adentrou no Brasil por imigrantes espanhóis e do Oriente Médio, sendo a sua produção ainda incipiente (AVELAR, 2016). Atualmente, para suprir as necessidades internas, de oito mil toneladas anual, uma grande quantidade é importada do México e Argentina, o que custa, para o país, quase US\$ 9,000,000.00 (SIMONI, 2017; EMBRAPA, 2017).

Apesar de ser considerada de clima frio, essa leguminosa, da família Fabaceae, adapta-se muito bem a regiões de clima tropical, apresentando um bom desenvolvimento e uma boa produtividade (HOSKEM, 2014). A exemplo disto, o município de Cristalina-GO produz, no cultivo em pivô, até 3 toneladas por hectare, uma produtividade cinco vezes maior que a média mundial (EMBRAPA, 2017). A cultura tornou-se excelente opção de cultivo para o Cerrado no período de sequeiro (ARTIAGA et al., 2015), com variedades adaptadas.

O grão de bico na alimentação humana é suplemento das necessidades em proteína (na composição cerca de 20%), carboidratos (50%), minerais e fibras sendo indicado nas dietas de muitos povos (BARROSO et al., 2007). Contém baixo teor de calorias, e por ser rico em ácidos graxos insaturados, reduz o colesterol *Low-Density Lipoprotein* (LDL) e aumenta o *High Density Lipoprotein* (HDL) (HOSKEM, 2014).

Devido aos benefícios desse grão, os nutricionistas o indicam cada vez mais, e, portanto, o consumo é crescente. Na alimentação, ele pode ser servido de várias maneiras: cru, cozido, enlatado, dentre outras, sendo grãos muito apreciados ainda recém colhidos (MRAD et al., 2014). Porém, o grão de bico é um produto com um mercado interno limitado, e para incentivar e expandir o seu consumo e produção, novos estudos devem ser realizados com este produto de forma que mantenha a sua qualidade por um longo tempo, sendo a secagem uma forma de aumentar o tempo de armazenamento.

Desse modo, tamanho e forma do grão, distribuição uniforme, aparência visual (cor), firmeza, concentração proteica de grãos e teor de água, que influencia também no peso do grão, estão entre os fatores analisados para qualidade, utilidade e valor comercial (VAHAMIDIS et al., 2017; EMBRAPA, 2017).

Todavia, mesmo com um teor de água adequado e outros fatores também favoráveis, já citados, a manutenção do produto depende do acondicionamento em embalagem, como do tempo mantido armazenado, que pode vir a causar alterações na composição e qualidade dos grãos. Antonello et al. (2009) avaliando a qualidade fisiológica de diferentes variedades de sementes de milho, submetidas ao armazenamento em embalagens plásticas a vácuo e em sacos de pano, constatou que a manutenção da qualidade depende da variedade e do tipo embalagem.

A embalagem apresenta-se como um dos fatores mais importantes na análise de sementes ou grãos ao longo do tempo. Confere ao produto maior proteção contra insetos, roedores e danos no manuseio, além de apresentar outras vantagens como a facilidade de identificação, comercialização e manejo. Entre os tipos de embalagens que podem ser utilizadas são dadas três categorias com base na permeabilidade ao vapor de água: impermeáveis, semipermeáveis e permeáveis. Assim, ao aplicar diferentes embalagens, a longevidade da semente ou grão irá variar por influência das trocas de umidade (AZEREDO et al., 2005).

A exemplo disto, Nadaleti et al. (2015) verificaram que para amostras de café, a escolha da embalagem influenciava no teor de água, sendo as de papel kraft com menores valores em relação as de prata e de preto-fosco. Essa e outras comparações tornam-se necessárias para verificar os benefícios da adoção de uma embalagem ou outra, quando normalmente se tem na comercialização de sacarias e em trabalhos científicos, o uso do papel Kraft para armazenamento de sementes e grãos. Portanto, uma armazenagem adequada evitará perdas tanto no aspecto quantitativo como qualitativo.

Dessa forma, neste trabalho foi avaliada a qualidade do grão de bico, cultivar BRS Cristalino, durante o armazenamento em diferentes embalagens.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. ORIGEM E COLHEITA

Os grãos de bico (*Cicer arietinum* L.) da cultivar BRS Cristalino pertencente ao grupo kalubi, são provenientes de um experimento conduzido na área experimental da Agência Goiana de Assistência Técnica, Extensão Rural e Pesquisa Agropecuária - EMATER, situado no município de Anápolis-GO.

A localização geográfica para a área é definida pelas coordenadas latitude 16°20'12.13" Sul e longitude 48°53'15.96" Oeste, apresentando altitude média de 1058 m (GOOGLE EARTH, 2018). O clima da região, segundo a classificação de Köppen é do tipo Aw tropical úmido, com estação seca no período outono-inverno (maio-outubro) e chuvas no período primavera-verão (novembro-abril). A temperatura média anual está em 22° C, com precipitação média anual de 1200 mm (GOIÁS, 2018).

Os grãos de bico foram semeados no dia 21 de junho de 2018, e mantidos no sistema de irrigação por aspersão, sendo sua colheita realizada em outubro de 2018, com um teor de água inicial de 40% base úmida (b.u.). Após a colheita manual, foram acondicionados em sacos plásticos de polietileno de baixa densidade, e levados ao Laboratório de Secagem e Armazenamento de Produtos Vegetais da Universidade Estadual de Goiás, no Campus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas - Henrique Santillo, Anápolis - GO, para a realização dos experimentos.

2.2. CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

Os grãos de bico com o teor de água de 13% b.u. (base úmida), secos em estufa da marca Ethik Technology, a 40 °C com circulação de ar forçada, foram homogeneizados e separados para serem acondicionados em duas embalagens, sendo elas:

- Papel kraft natural/pardo: Dimensão: 0,18 m x 0,25 m x 0,10 m de comprimento, altura e largura respectivamente, com espessura de 0,30 micrômetro.

- Sacos plásticos de polietileno de baixa densidade (PEBD): 0,10 m x 0,15 m, com espessura de 130 micrômetros, atóxico, inodoro e incolor.

A embalagem de plástico foi selada na seladora da marca R.Baião, e o papel kraft com grampo metálico. Após a separação dos grãos, cada embalagem continha cinquenta gramas de produto.

As embalagens foram mantidas em condições ambientes (umidade relativa e temperatura do ar) monitoradas no Laboratório de Secagem e Armazenamento de Produtos

Vegetais, da Universidade Estadual de Goiás, no Campus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas - Henrique Santillo, Anápolis - GO.

Posteriormente à sua identificação, para verificação da qualidade do produto, o experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x5, sendo dois tipos de embalagens (papel kraft e sacos plásticos de polietileno de baixa densidade) e cinco períodos de análise: 0, 30, 60, 90 e 120 dias, com três repetições. Já para a variação da massa utilizou-se a mesma parcela, com três repetições, ao longo do tempo.

Assim, as variáveis, deste experimento, foram:

- Teor de água: determinou-se pelo método padrão da estufa a $105\pm 3^{\circ}\text{C}$, durante 24 horas, com três repetições (BRASIL, 2009), com 10 gramas cada. A Equação 1 mostra como estimou-se o teor de água:

$$U = \frac{(M-m) \times 100}{M-t} \quad (1)$$

Em que: U = teor de água (%); M = massa inicial, peso do recipiente e sua tampa mais a massa do grão úmido; m = massa final, peso do recipiente e sua tampa mais a massa do grão seco; t = tara, massa do recipiente com sua tampa.

- Variação da massa: inclui o ganho e perda de massa. Nesse controle, utilizou-se uma balança analítica com precisão de 0,01 gramas. Considerou-se no período inicial que massa dos grãos era de 100%. A cada 30 dias, verificou se as massas das embalagens para constatar se o produto ganhou ou perdeu massa. Em cada caso aplicou-se uma equação. Para a porcentagem de ganho de massa, a Equação 5, mostra como calculou-se:

$$\text{GM} (\%) = \frac{(M_j - M_i) \times 100}{M_i} \quad (5)$$

Em que: GM = Ganho de massa (%); M_i = Massa inicial do grão (g); M_j = Massa do grão no período subsequente a M_i (g).

Para a porcentagem de perda de massa, empregou-se a Equação 6:

$$\text{PM} (\%) = \frac{(M_i - M_j) \times 100}{M_i} \quad (6)$$

Em que: PM = Perda de massa (%); M_i = Massa inicial do grão (g); M_j = Massa do grão no período subsequente a M_i (g).

- Massa específica aparente e unitária: determinou-se a massa específica aparente (ρ_{ap}), em Kg m^{-3} , utilizando-se um recipiente cilíndrico de acrílico com volume conhecido, e uma balança analítica com precisão de 0,01 gramas. Já a massa específica unitária (ρ_u) estimou-se pela Equação 2. Obteve-se a massa de cada grão com um auxílio de uma balança analítica com precisão de 0,01 gramas, e o volume pela medição dos eixos ortogonais do grão, conforme a Equação 3, em que se utilizou um paquímetro digital de precisão de 0,01mm.

$$\rho_u = \frac{m}{V_g} \quad (2)$$

$$V = \frac{\pi a b c}{6} \quad (3)$$

Em que: ρ_u = massa específica unitária; m = massa do grão, em kg; V_g = volume do grão em m^3 ; a = eixo maior do grão, em mm; b = eixo médio do grão, em mm; c = eixo menor do grão, em mm.

- Porosidade: estimou-se de acordo com a Equação 4, proposta por Mohsenin (1986):

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_u} \right) \times 100 \quad (4)$$

Em que: ε = Porosidade intergranular (%); ρ_u = Massa específica real ou unitária, em kg m^{-3} ; ρ_{ap} = Massa específica aparente do produto, em kg m^{-3} .

- Massa de 100 grãos: contou-se 100 grãos que foram pesados em balança analítica com precisão de 0,01 gramas. Assim, obteve-se a massa de 100 grãos.
- Coloração dos grãos: Utilizou-se o colorímetro CR - 400 da Konica Minolta, na avaliação das cores das amostras. Este equipamento utiliza o sistema Cielab de cor, que verifica por refletância, os valores de L^* , a^* e b^* . A coordenada L^* indica a luminosidade, variando de zero (cor preta) a 100 (cor branca), a coordenada a^* indica a intensidade de verde (-a) a vermelho (+a) e a coordenada b^* indica a intensidade de azul (-b) a amarelo (+b). Para o cálculo da saturação de cor (Croma) utilizou-se a Equação 7 e para a tonalidade da cor (ângulo hue) a Equação 8 (MINOLTA, 1994):

$$Cr = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (7)$$

$$^{\circ}\text{H} = \arctang \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (8)$$

Em que: Cr = Croma; $^{\circ}\text{H}$ = ângulo hue; a^* = valor de a^* , obtido pelo colorímetro; b^* = valor de b^* , obtido pelo colorímetro.

- Compressão uniaxial: inicialmente, as amostras foram hidratadas, na proporção 1:1,7 (grão:água, em gramas), sendo colocadas em um béquer de 600 mL por 30 minutos. Posteriormente, utilizou-se o equipamento de banho maria da marca Nova Técnica, à temperatura aproximada de 60 °C, onde as amostras ficaram por mais 30 minutos em banho maria. A compressão uniaxial foi realizada após o término do processo de reumedecimento (PAGNAN et al., 2017). Assim, mensurou-se a propriedade estrutural de 50 grãos por meio do texturômetro Brookfield *Texture Analyser* CT3 50K, com a probe A17 de 35 mm de diâmetro, com deformação de 5 mm e velocidade de compressão de 2 mm s⁻¹, utilizando a amostra de grãos do processo de hidratação a 60 °C, colocado na posição de repouso natural. Os resultados foram obtidos em Newton (N), ou seja, a força necessária de esmagamento do grão (SIMONI, 2017).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância ($P \leq 0,05$) e, quando significativos, foram aplicados os testes: para fatores qualitativos aplicou-se o teste de comparação de médias de Tukey ($P \leq 0,05$); e para os fatores quantitativos, a análise de regressão. Para a análise estatística utilizou-se o Software SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2014).

Ainda, com os dados experimentais obtidos, de teor de água, de temperatura e umidade relativa do ar, estes foram ajustados aos modelos matemáticos de umidade de equilíbrio para representar a higroscopicidade do grão de bico durante o armazenamento. Os modelos ajustados estão expressos no Quadro 1.

Quadro 1. Modelos matemáticos utilizados para simulação da umidade de equilíbrio (U_e) dos grãos de bico durante o armazenamento.

Modelo	Equação	
Sigma-Copace	$U_e = \exp(a - (b \cdot T) + (c \cdot \exp(UR)))$	(9)
Sabbah	$U_e = a \cdot (UR^b/T^c)$	(10)
Henderson	$U_e = [\ln(1-UR)/(-a \cdot T)]^{\frac{1}{b}}$	(11)
Copace	$U_e = \exp[a - (b \cdot T) + (c \cdot UR)]$	(12)

Em que: Ue = umidade de equilíbrio, % em base úmida; T = temperatura do ar, em ° C; UR = umidade relativa, em decimal.

No ajuste dos modelos matemáticos realizou-se a análise de regressão não linear, pelo método Gauss Newton, utilizando-se o programa Statistica 12.0. Para verificar o grau de ajuste dos modelos do Quadro 1, foi considerada a significância do coeficiente de determinação (R^2), a magnitude dos valores do erro médio relativo (P), Equação 15, e do erro médio estimado (SE), Equação 16.

$$P = \frac{10}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \right) \quad (15)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (16)$$

Em que: P= erro médio relativo, adimensional; SE= erro médio estimado; Y= valor observado experimentalmente; \hat{Y} = valor calculado pelo modelo; e GLR= grau de liberdade do modelo (n-1); n= número de observações experimentais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância, expressa pelo quadrado médio, para as variáveis: teor de água, massa específica aparente, massa específica unitária, porosidade e massa de 100 grãos, estão na Tabela 1. Observa-se que apenas o teor de água apresentou diferença ($P \leq 0,05$) para a interação embalagem e tempo. Já para a massa específica aparente a embalagem apresentou diferenças, e para a massa de 100 grãos, o tempo de armazenamento foi significativo ($P \leq 0,05$). A massa específica unitária e a porosidade não apresentaram diferenças ($P > 0,05$).

TABELA 1 - Análise de variância, graus de liberdade (GL), quadrado médio (QM), para as variáveis: teor de água (U, % base úmida), massa específica aparente (ρ_{ap} , kg m^{-3}), massa específica unitária (ρ_u), porosidade (ϵ) massa de 100 grãos (M_{100} , kg) para grãos de bico (*Cicer arietinum* L.) da cultivar BRS Cristalino, submetido a diferentes embalagens, papel Kraft e sacos plásticos de polietileno de baixa densidade (PEBD), durante 5 tempos de armazenamento (0, 30, 60, 90 e 120 dias), ao nível de significância de 5% de probabilidade.

Fonte de variação	GL	QM U	QM ρ_{ap}	QM ρ_u	QM ϵ	QM M_{100}
Embalagem	1	74,0651*	2424,1985*	2059,09 ^{ns}	37,82 ^{ns}	0,000001 ^{ns}
Tempo	4	26,5425*	735,9603 ^{ns}	4331,38 ^{ns}	13,64 ^{ns}	0,000003*
Embalagem*Tempo	4	9,6493*	223,9889 ^{ns}	2729,37 ^{ns}	8,53 ^{ns}	2,60E-07 ^{ns}
Resíduo	20	0,4063	338,023175	5282,65	18,25	5,52E-07
Total	29					
CV (%)		4,10	2,40	5,67	10,66	2,43
Média		15,53	765,57	1281,67	40,07	0,0305

* Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade; CV - Coeficiente de variação.

Nesse trabalho, antes de demonstrar o comportamento dos grãos, em cada variável, torna-se fundamental o conhecimento das oscilações de temperatura e umidade relativa do ar, para compreender as relações de modificação, durante o armazenamento, na condição ambiente.

Assim, na Figura 1, são apresentados os valores médios de temperatura do ar e umidade relativa do ar, com precisão de ± 1 °C e $\pm 5\%$ respectivamente, para a condição ambiente, em que foram mantidas as embalagens durante o período de armazenamento.

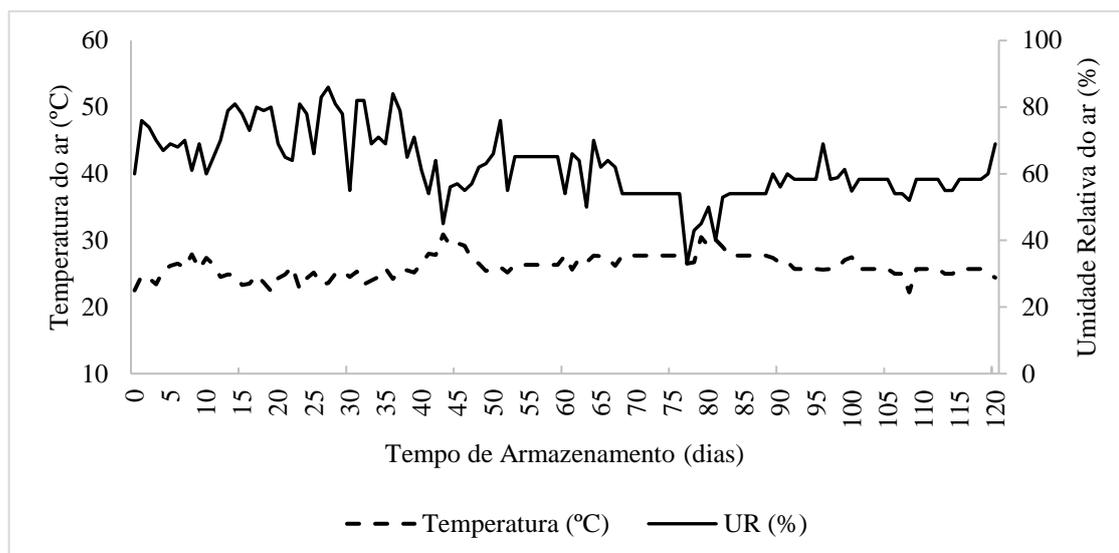


FIGURA 1. Variação da temperatura do ar (°C) e da umidade relativa do ar (%), na condição ambiente, no local de armazenamento do grão de bico (*Cicer arietinum* L.), BRS Cristalino, durante o período de 0 a 120 dias de armazenamento.

Durante o armazenamento dos grãos, em um período de 120 dias, os dados médios de temperatura (°C) e umidade relativa (%) do ar foram: 24,76 °C e 72,10%; 26,42 °C e 65,10%; 27,67 °C e 54,27%; e 25,57 °C e 58,45% para os tempos compreendidos entre 0 a 30; 31 a 60; 61 a 90; e 91 a 120 dias, respectivamente.

Estar atento a essas mudanças climáticas, ajudará a prever o comportamento dos grãos, uma vez que o teor de água do produto está entre os fatores analisados pelas indústrias de processamento que utilizam tabelas de descontos para teores de água mais elevados, visando cobrar os custos de secagem para a remoção do excesso de água dos grãos. Além disso, essas empresas adotam tolerância no teor de água para alguns produtos, visando obter uma qualidade maior da matéria-prima (LAZZARI, 1999).

Com esse conhecimento das alterações climáticas, do local do armazenamento, observa-se, na Figura 2, que, as diferenças de umidade relativa do ar, encontradas durante cada análise, influenciaram o teor de água nos grãos. Assim, na Figura 2, são apresentadas as curvas do teor de água (U) em função do tempo de armazenamento, dos grãos mantidos em condição ambiente.

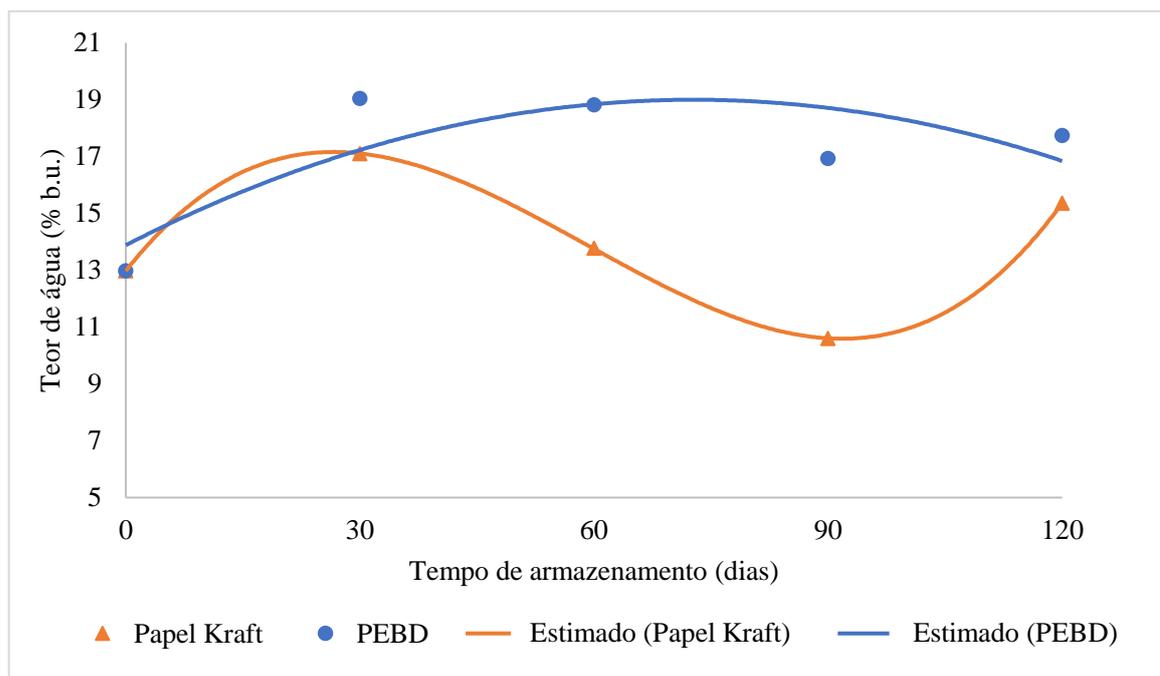


FIGURA 2. Teor de água (% base úmida), de grãos de bico (*Cicer arietinum* L.) da cultivar BRS Cristalino, em função das diferentes embalagens de papel Kraft e de polietileno de baixa densidade (PEBD), com o tempo de armazenamento (0, 30, 60, 90 e 120 dias), na condição analisada.

Nota-se, na Figura 2, que, a embalagem plástica de polietileno de baixa densidade (PEBD) apresenta maior resistência para o grão entrar em equilíbrio higroscópico, ao longo do período de armazenamento, do que a embalagem Kraft. Dessa maneira, o comportamento das sementes durante o armazenamento, entre outros fatores, dependeu da embalagem utilizada (ANTONELLO et al., 2009).

A resistência da embalagem deve ser considerada nos processos de desorção e/ou adsorção, por ser um dos fatores mais importantes a serem analisados para o controle e vida útil dos grãos. A embalagem ou o material utilizado para armazenar o alimento irá juntamente com a temperatura de armazenagem determinar o microclima dentro do pacote, pela pressão de vapor, determinada pelo teor de água (FELLOWS, 2017).

Os parâmetros dos modelos estimados para a umidade de equilíbrio, durante o armazenamento dos grãos de bico, com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), erros médios estimado (SE) e relativo (P), são expostos na Tabela 2 para a embalagem de papel Kraft e na Tabela 3, para a embalagem de sacos plásticos de polietileno de baixa densidade (PEBD).

TABELA 2 - Parâmetros dos modelos estimados para a umidade de equilíbrio, durante os 120 dias armazenamento dos grãos de bico, com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), erros médios estimado (SE) e relativo (P), para cada embalagem de papel Kraft.

Modelo	a	b	c	R^2	SE	P
Sigma-Copace	6,7411	0,1576	0,0059	99,1900	0,3511	2,1134
Sabbah	526,2711	0,9079	0,9785	88,2800	1,4906	8,3310
Henderson	0,0010	1,3639	-	84,2100	1,4915	7,9984
Copace	6,7107	0,1566	0,0286	99,1900	0,3506	2,1347

Observa-se que, na Tabela 2, os modelos mais ajustados foram Sigma-Copace e Copace com mesmo R^2 de 99,19 e valores de SE de 0,3511 e 0,3506 e P de 2,11 e 2,13 respectivamente, ou seja, apresentaram maior R^2 e menores erros médios (SE e P). Ambos os modelos podem ser escolhidos para a estimativa da umidade de equilíbrio do grão de bico em embalagem de papel Kraft.

Já na Tabela 3, tem a estimativa da umidade de equilíbrio do grão de bico em embalagem PEBD. Nota-se, na Tabela 4, que o modelo mais ajustado foi o de Sabbah com R^2 de 96,22 e valores de SE de 0,2676 e P de 1,27. Assim este modelo pode ser escolhido para a estimativa da umidade de equilíbrio do grão de bico em embalagem de sacos plásticos de polietileno de baixa densidade.

TABELA 3 - Parâmetros dos modelos estimados para a umidade de equilíbrio, durante os 120 dias armazenamento dos grãos de bico, com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), erros médios estimado (SE) e relativo (P), para cada embalagem de sacos plásticos de polietileno de baixa densidade (PEBD).

Modelo	A	b	c	R^2	SE	P
Sigma-Copace	2,19877	-0,0015	0,35256	94,22	0,328988	1,469408
Sabbah	12,46987	0,473477	-0,18347	96,22	0,267593	1,273636
Henderson	0,000355	1,62076	-	85,91	1,966866	8,189001
Copace	2,40984	-0,0023	0,68197	95,04	0,305424	1,383462

Nas Tabelas 2 e 3, os melhores modelos que expressam o fenômeno físico de higroscopicidade dos grãos de bico diferiram conforme a embalagem utilizada. Isso colabora com os fatores já mencionados, em que uma embalagem apresentará comportamentos diferentes conforme a permeabilidade de seu material exposto ao ambiente de armazenamento.

Martins e Lago (2008), relatam que a umidade e a temperatura têm grande influência na qualidade e conservação de grãos e sementes, uma vez que esses fatores influenciam nas reações bioquímicas que irão regular o metabolismo. Ademais, esses parâmetros fazem com que os grãos mudem sua quantidade de água, até atingir o equilíbrio com o ambiente.

Araújo (2014) estudou e verificou para grãos de soja, na condição de estresse, 30 °C e 80% UR, que a tendência dos grãos era que aumentasse o teor de água, independente da cultivar analisada. Esse comportamento de ganho de água, de acordo com Weber (2005), apesar da temperatura elevada está relacionado com o papel da umidade relativa do ar, nos grãos, mostrando-se que este é determinante para elevação ou diminuição no conteúdo de água no armazenamento.

O teor de água de grãos armazenados é aumentado rapidamente, quando submetido a uma umidade relativa do ar superior a 70% (PUZZI, 2000), como observado nos 30 primeiros dias. Após esse período, os dados mostraram uma tendência de diminuição no teor de água, pelo aumento na temperatura e diminuição da umidade relativa do ar, até o período de 90 dias. Posteriormente até o último dia de análise, nota-se que ocorre novamente uma reversão, ou seja, diminui a temperatura e aumenta a umidade relativa do ar, e o teor de água conseqüentemente aumenta. Portanto, o teor de água é regulado pela embalagem e pela condição de armazenamento.

Contudo, o aumento do teor de água não deve ser atribuído somente a embalagem e a temperatura de armazenamento, pois essa elevação pode estar ligada à atividade respiratória dos grãos e da microflora a eles associada (POMERANZ, 1974), desenvolvida ao longo do período de armazenamento.

Dessa forma, há uma grande variação entre as embalagens, principalmente para as de papel Kraft quando comparadas a de PEBD, em relação ao teor de água, conforme a Tabela 4. A perda de água é influenciada pelo tipo de embalagem e pelas condições de armazenamento, principalmente em temperatura ambiente, pode tornar-se mais favorável (NADALETI et al., 2015).

TABELA 4 – Teor de água (% , base úmida) de grãos de bico, cultivar BRS Cristalino, submetido a diferentes embalagens, papel Kraft e sacos plásticos de polietileno de baixa densidade (PEBD), durante o período de armazenamento (0, 30, 60, 90 e 120 dias), ao nível de significância de 5% de probabilidade.

Embalagem	Tempo				
	0	30	60	90	120
Papel Kraft	12,98 Da	17,10 Ab	13,77 Cb	10,59 Cb	15,36 Bb
PEBD	12,98 Ca	19,04 Aa	18,82 Aa	16,93 Ba	17,74 ABa

Médias seguidas pela mesma letra, maiúsculas na linha, minúsculas na coluna, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey, à 5% de probabilidade.

No início do armazenamento, o produto encontrava-se com 12,98 %b.u. Conforme o tempo de armazenamento foi aumentando, os teores de água foram modificados, ora ganhando água, ora perdendo. O maior teor foi encontrado no tempo de 30 dias com 19,04 para PEBD e 17,10 % (b.u.) para as embalagens de papel Kraft. Já nos tempos seguintes, houve a perda de água até que no período de 120 dias, novamente voltassem a aumentar o teor de água.

O teor de água é um dos fatores mais preponderantes na avaliação da qualidade dos grãos. Esse parâmetro está intimamente ligado a conservação do produto durante o armazenamento. Para que seja eficaz no armazenamento, deve-se ter redução do teor de água, pois grãos com altos teores constituem locais de desenvolvimento de microrganismos, insetos e ácaros. Assim, grãos armazenados com teores baixos, podem permanecer armazenados por períodos mais longos, sem maiores perdas, mesmo que a condição não seja a ideal (PUZZI, 2000). Para grãos em geral, recomenda-se valores entre 13 e 11 %.

Araújo (2014) encontrou o modelo cúbico para a representação do teor de água em grãos de soja, armazenados em condições de estresse (com temperatura e umidade relativa elevadas: 30° e 80%) e na condição favorável. Já para a condição ambiente natural obteve o modelo quadrático.

O aumento do teor de água nos grãos na condição ambiente, conforme observa-se na Figura 2, para o período de 0 a 30 dias, é sugerido pela presença de chuvas e alta umidade relativa do ar durante o armazenamento, influenciando na absorção de água da semente, até atingir a umidade de equilíbrio com o entorno do ar (SURIYONG et al., 2015).

Em períodos de armazenamento, com condições mais úmidas do ambiente (períodos chuvosos), Oliveira et al. (2000), observaram que os grãos de café (*Coffea arábica* L.) umedeceram, ou seja, aumentaram o teor de água, influenciando na cor e na acidez do produto. Com a mudança das condições climáticas no final do armazenamento, como nesse experimento, os valores decresceram.

McDonald (1999) também expõe que não só o umedecimento do produto, devido a temperatura e a umidade relativa baixa, traz consequências na qualidade das sementes. Ele afirma que quando submetidas a altas temperaturas, a perda de viabilidade das sementes torna-se mais rápida, principalmente quando esta se encontra com elevado teor de água. Antonello et al. (2009) relatam que o período de conservação dos grãos é dependente também da cultivar, do teor de água e da qualidade fisiológica inicial.

Lopes e Capucho (1993), observaram que grãos de feijão acondicionados em diferentes embalagens de saco de pano e papel multifoliado, durante o armazenamento, em condição ambiente, apresentou maiores variações de teor de água do que quando armazenado em PEBD, em câmara fria com valores baixos de temperatura (12° C) e umidade relativa (35%).

Dessa forma, a qualidade dos grãos está relacionada ao tipo de embalagem e a condição do ambiente. Se os grãos são submetidos a embalagens permeáveis, seu teor de água pode variar conforme as oscilações da umidade relativa do ar. Já as embalagens semipermeáveis apresentam maior resistência as trocas de umidade, porém não são tão eficientes quanto as impermeáveis, em que não há a influência da umidade relativa externa sobre o produto (POPINIGIS, 1985).

Em sementes de ervilhas armazenadas, Vales et al. (2014), determinou um teor de água de 10,6% para o início do experimento, que em dois meses de armazenamento diminuiu drasticamente para uma média de 5,4%, mas subsequentemente aumentou ao longo de quatro meses para uma média de 7,7%. Essas mudanças, também relatadas por esses autores, são explicadas provavelmente pelo aumento da umidade relativa do ambiente, período chuvoso, ocorrido no início do armazenamento deste produto.

Apesar das influências do clima, no armazenamento de grãos, estes produtos podem ser processados em qualquer região, mesmo que a umidade relativa e a temperatura do ar estejam desfavoráveis, desde que se atente para que os grãos sejam secos e mantidos nessa condição (GOERGEN, 2010).

Na Figura 3, nota-se que há uma variação de massa nas embalagens em função do tempo de armazenamento. Essa variação pode ser melhor observada para embalagem de papel Kraft.

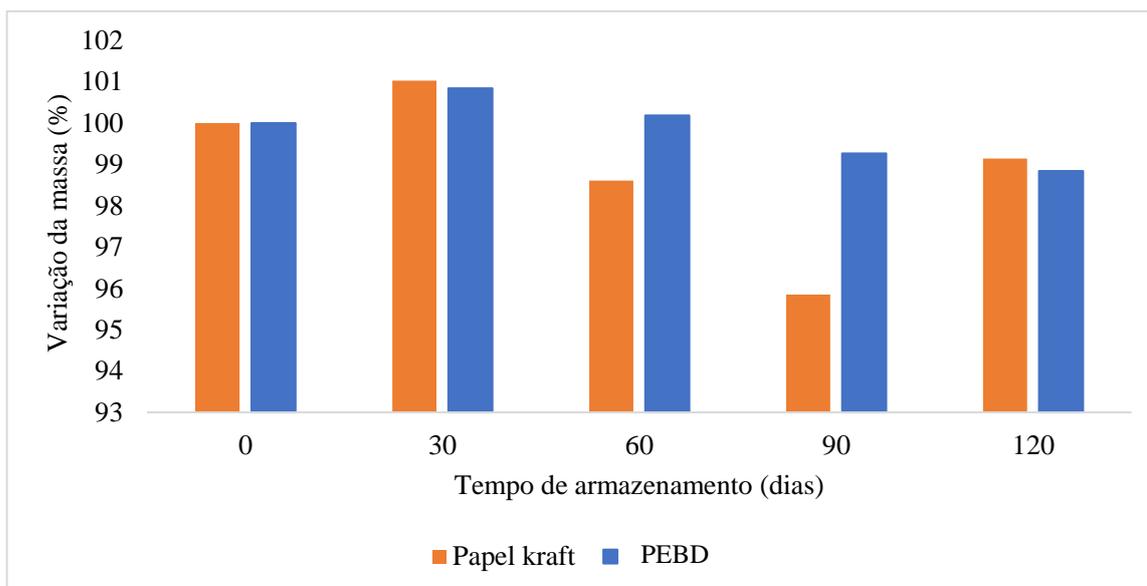


FIGURA 3. Variação da massa de grãos de bico (*Cicer arietinum* L.) da cultivar BRS Cristalino, durante 5 tempos de armazenamento (0, 30, 60, 90 e 120 dias) das embalagens de papel Kraft e de sacos plásticos de polietileno de baixa densidade (PEBD).

Na Figura 3, nota-se que os grãos de bico, estabelecem uma relação ao longo do tempo de ganho e perda de massa, fato que coincide com a redução e aumento do teor de água (Figura 2), ou seja, o aumento do teor de água proporcionou ganho de massa, enquanto que sua redução ocasionou a diminuição.

Observa-se que durante um período mais seco, com menor umidade relativa e maior temperatura, há uma perda de massa independente da embalagem do produto. O contrário também é válido. Os grãos armazenados submetidos a um período, em que as condições ambientais são mais úmidas e frias, ganharão massa. Assim, do período inicial para 30 dias, o ganho de massa foi de 0,85 e 1,03% para as embalagens de papel Kraft e PEBD, respectivamente.

Athié et al. (1998) expõem que a combinação de umidade relativa e temperatura no armazenamento é que determinará a atividade de todos os componentes bióticos do sistema, que poderão prejudicar a qualidade ou beneficiar o produto. Para Paraginski et al. (2014), grãos com um teor de água acima do recomendado, em um ambiente com altas temperaturas, terão o processo metabólico acelerado, formando focos de aquecimento no interior da massa dos grãos, acarretando perdas elevadas, devido a atuação de microrganismos, se medidas para solucionar tais problemas, não forem realizadas adequadamente.

O papel Kraft apresenta maiores oscilações justamente por ter propriedades negligenciáveis do vapor de água, ou seja, maior permeabilidade (FELLOWS, 2017). De acordo com Samistraro e Muniz (2009), o papel Kraft têm suas propriedades variáveis, dependentes

do conteúdo de umidade, apresentando diferenças como na resistência (rasgo e rigidez) e na permeabilidade a fluidos (resistência à passagem do ar).

As embalagens utilizadas nesse experimento são do tipo permeáveis (papel Kraft) e semipermeáveis (PEBD), e por isso, são influenciadas pelas variações das condições ambientais externas (ANTONELLO et al., 2009).

Em geral, alimentos que foram secos, cozidos ou extrudados devem ser armazenados em embalagens que tenham uma baixa permeabilidade à umidade, para impedir que as trocas com o ambiente, causem o amolecimento do produto e ganhem água da atmosfera. Com a atividade de água maior, os microrganismos poderão ter sua atividade acelerada e aumentar a degradação do produto. Contudo, para alimentos frescos, que respiram com maior intensidade (frutas, por exemplo), as embalagens devem permitir uma permeabilidade maior para as trocas de gases com a atmosfera, principalmente para frutos climatérios que necessitam liberação de etileno (FELLOWS, 2017).

Embora, vários cuidados possam ser tomados, deve-se considerar durante o armazenamento a deterioração natural dos grãos e sementes, que é um processo irreversível, porém é possível retardar a velocidade pelo manejo eficiente e correto das condições climáticas do armazenamento (BAUDET, 2003), aumentando o tempo que o produto permanece íntegro e benéfico para utilização (ANTONELLO et al., 2009). Outros parâmetros para avaliação da qualidade durante o período de armazenamento devem ser avaliados, como as massas específicas.

Os resultados das massas específicas aparentes dos grãos de bico para as diferentes embalagens são apresentados na Tabela 5. Nota-se, valores mais elevados para o papel Kraft com $774,56 \text{ kg m}^{-3}$, do que para a embalagem PEBD, com $756,59 \text{ kg m}^{-3}$.

TABELA 5 - Massa específica aparente (kg m^{-3}) de grãos de bico, cultivar BRS Cristalino, submetido a diferentes embalagens, papel Kraft e sacos plásticos de polietileno de baixa densidade (PEBD), ao nível de significância de 5% de probabilidade.

Embalagem	Massa específica aparente
Papel Kraft	774,56 a
PEBD	756,59 b

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey, à 5% de probabilidade.

As diferenças notadas na Tabela 5, para as diferentes embalagens (papel Kraft e PEBD) deve-se principalmente aos diferentes teores de água encontrados, ao longo do tempo de

armazenamento do produto. A tendência da massa específica aparente para a maioria dos produtos agrícolas, é que ocorra um aumento com a redução do teor de água (RESENDE, 2006).

Maiores valores de massa específica aparente dos grãos são desejadas, uma vez que está relacionada com o conteúdo de matéria seca e índices superiores que refletem um produto com melhor qualidade (CAMPOS, 2016). Portanto, de modo geral, baixos valores de massa específica aparente de um produto, irão representar grãos que perderam excessivamente sua matéria seca (CORADI et al., 2016). Dessa forma, a embalagem de papel Kraft é mais recomendada nesse parâmetro.

Scariot et al. (2018), trabalhando com três teores de água para grãos de trigo, verificou que ao longo do tempo de armazenamento, o produto que era mantido no sistema hermético, permaneceu com a massa específica estável durante todo o período analisado, enquanto que no sistema convencional, os valores diminuiram linearmente ao longo do tempo.

O comportamento caracterizado para a massa específica aparente dos grãos de bico em função do tempo de armazenamento é apresentado na Figura 4. A massa específica aparente de ambas embalagens não apresentaram diferenças ao longo do tempo ($P>0,05$).

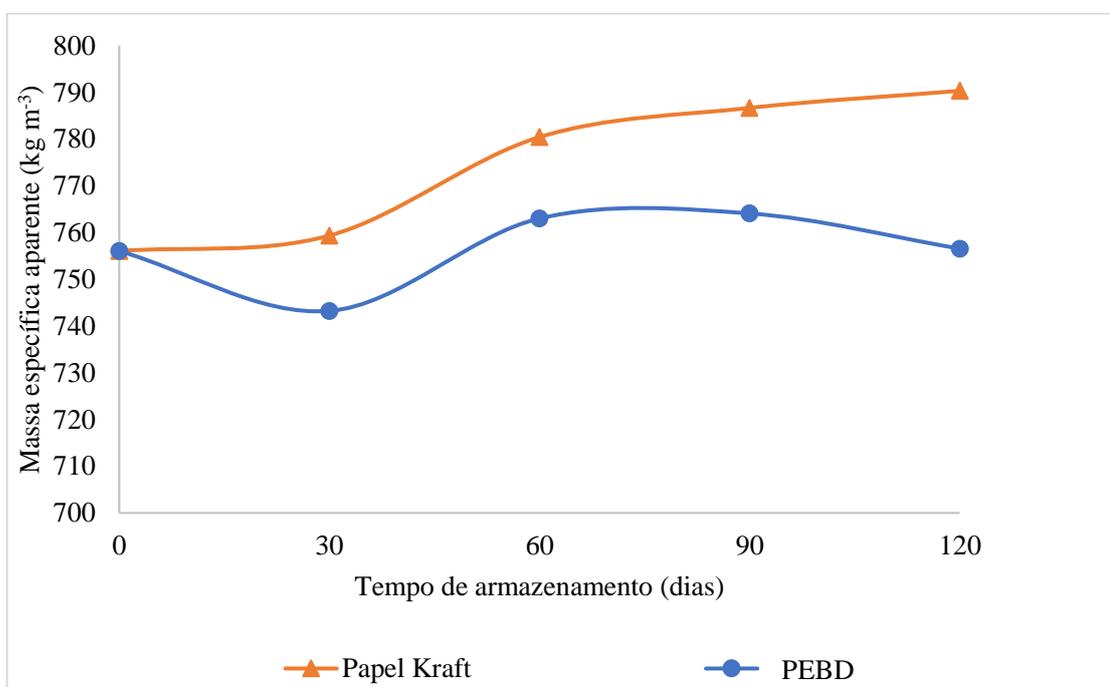


FIGURA 4. Massa específica aparente de grãos de bico (*Cicer arietinum* L.) da cultivar BRS Cristalino, em função do tempo de armazenamento (0, 30, 60, 90 e 120 dias) e das embalagens de papel Kraft e de sacos plásticos de polietileno de baixa densidade (PEBD).

Verifica-se, na Figura 4, que apesar das oscilações nos dados não terem significância ($P > 0,05$), as diferenças podem ser explicadas devido a análise de embalagens com amostras separadas ao longo do armazenamento ($P > 0,05$).

Nota-se também, na Figura 4, que a embalagem PEBD apresenta menores valores de massa específica aparente quando comparada as de papel Kraft, essa relação é justificada pelos teores de água se manterem mais altos e constantes nessa embalagem. Nikoobin et al. (2008), explicam que o aumento do teor de água tem um efeito significativo ($P \leq 0,05$) na massa específica aparente das sementes de grão de bico, reduzindo-o.

Essas alternâncias de teor de água (Figura 2) encontradas para a embalagem de papel Kraft reflete na tendência da massa específica aparente oscilar mais, do que em comparação a de PEBD, que mantém o teor de água mais elevado. Ao final do armazenamento, com 120 dias, é possível notar que na primeira embalagem a massa específica atinge a $790,32 \text{ kg m}^{-3}$, enquanto na PEBD a massa específica aparente se mantém quase constante a encontrada no início do armazenamento, com $765,56 \text{ kg m}^{-3}$ sendo a inicial de $756,04 \text{ kg m}^{-3}$.

Nikoobin et al. (2008), ainda, analisando duas variedades de grãos de bico, constatou que a massa específica aparente diminuiu de $813,0$ para $710,0 \text{ kg m}^{-3}$ para a variedade Arman e de $816,0$ para $713,0 \text{ kg m}^{-3}$ para a variedade Hashem, quando o teor de água aumentou de 5 para 35 %. De acordo com esse autor, a diminuição da massa aparente é provocada pelo aumento do teor de água em grãos de bicos, ou seja, o aumento da massa pelo ganho de água na amostra é menor do que sua expansão volumétrica em um volume conhecido. Assim, sementes de grão de bico ao aumentar seu teor de água diminuem sua massa específica aparente.

Guedes (2010), também constatou uma diminuição da massa específica aparente para grãos de feijão, de $774,41$ para $750,88 \text{ kg m}^{-3}$, quando se aumentou o teor de água, de 12,32 para 19,52 % (b.u.). A diminuição foi de 3,04% ($23,53 \text{ kg m}^{-3}$) na massa específica aparente para uma variação de 7,2 % de água.

Todavia, Alencar et al. (2009), observaram que grãos de soja, independentemente do teor de água presente, armazenados na temperatura de $20 \text{ }^\circ\text{C}$, não variaram significativamente a massa específica aparente. Na temperatura de $30 \text{ }^\circ\text{C}$ constataram resultado semelhante, excetuando grãos armazenados com 12,8 % (b.u.), que no período de armazenamento entre 90 a 180 dias apresentaram uma redução de 2,6%.

Notou-se que para a massa específica unitária e para a porosidade, que ambas não apresentaram alterações ($P > 0,05$), em nenhum dos fatores estudados.

Inicialmente, estimou-se que a massa específica unitária e a porosidade correspondiam a $1245,39 \text{ kg m}^{-3}$ e 38,92 %. No período de 90 dias, com maior distinção no teor de água de

6,34% (Tabela 4) de uma embalagem para outra, a embalagem de papel Kraft apresentava $1288,20 \text{ kg m}^{-3}$ e 38,90% de porosidade, e a embalagem de PEBD $1262,56 \text{ kg m}^{-3}$ e 39,47%, respectivamente. Assim, a massa específica unitária e a porosidade se relacionam com o teor de água da amostra e com o tempo de armazenamento, porém esta alteração não foi significativa ($P > 0,05$). De acordo com Konak et al. (2002), a massa específica unitária do grão de bico, em diferentes teores de água analisados está entre 1428 e 1368 kg m^{-3} .

Já para Isik e Unal (2007), os valores de massa específica unitária estão superiores ao deste trabalho, variando de $1233,5$ a $1392,8 \text{ kg m}^{-3}$ e o de massa específica aparente inferiores, variando de $660,95$ a $581,94 \text{ kg m}^{-3}$, para grãos de feijão vermelho, durante a secagem nos teores de água compreendidos de 11 a 24,4% base úmida, justamente por se tratarem de espécies diferentes. No entanto, a mesma tendência de aumento de massa aparente conforme se reduz o teor de água, também se observa na Figura 4.

Nikoobin et al. (2008) encontraram a porosidade de grãos de bico com a mesma metodologia desse trabalho. A variedade Arman aumentou de 39,15 para 42,55% e a variedade Hashem de 38,97 para 42,32%, quando o teor de água foi alterado de 5 para 35 % (b.s.). As diferenças encontradas nas variedades podem ser decorrentes da estrutura celular e do volume e das características de aumento de massa das amostras.

Com a relação massa específica aparente e unitária, Guedes (2010), também obteve a porosidade para grãos de milho, durante a secagem dos grãos de 20,55 para 11,76% (b.u.), em que os valores diminuíram de 45,87 para 43,97%.

Estas relações também foram percebidas no período de 0 a 30 dias de armazenamento, quando os grãos ganharam conteúdo de água (Tabela 2), e assim na embalagem de papel Kraft os valores de porosidade aumentaram de 38,92 para 39,88% (2,48% a mais) e na embalagem plástica passaram de 38,92 para 45,47% (16,8% a mais), embora estas alterações não sejam significativas ($P > 0,05$).

A massa de 100 grãos, em função do tempo de armazenamento, é representada na Figura 5. O modelo quadrático apresentou um coeficiente de determinação (R^2) igual a 81,57%, com ajuste significativo estatisticamente ($P \leq 0,05$).

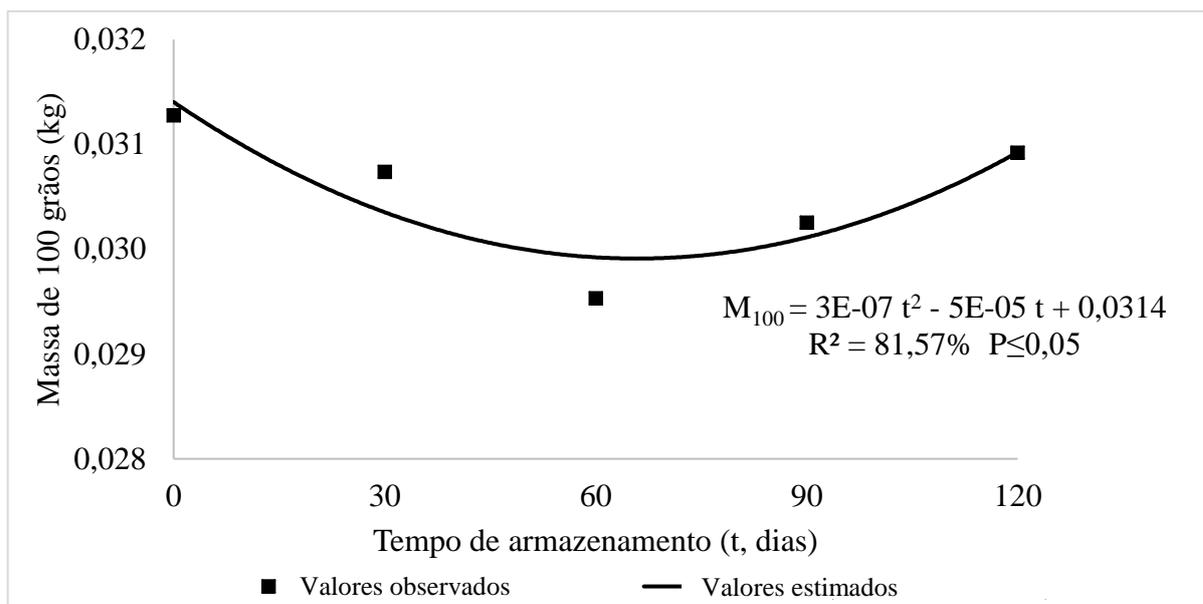


FIGURA 5. Massa de 100 grãos (M_{100}) de bico (*Cicer arietinum* L.) da cultivar BRS Cristalino, em função do tempo de armazenamento (0, 30, 60, 90 e 120 dias).

Observa, na Figura 5, que, a menor massa de 100 grãos, em função do tempo de armazenamento, está no período de 60 até 90 dias (não há diferenças estatísticas pelo teste de médias de Tukey, à 5% de probabilidade), variando de 0,0295 para 0,0302 kg (diferença de 2,39%), respectivamente, em que se obtém a menor diferença de um período a outro. Isso pode ser explicado pela redução do teor de água, Tabela 4, nesse período.

Valores próximos aos obtidos para a massa de 100 grãos foram determinados por Nikoobin et al. (2008), mostrando que para a correspondente massa, as sementes de grão de bico têm valores variando de 0,0208 a 0,0308 kg quando o teor de água varia de 4,8 a 25,9 % b.u.

A massa das sementes é uma informação essencial para ter a noção do tamanho da semente, assim como seu estado de maturidade e de sanidade. Ela serve para calcular a densidade de semeadura, o número de sementes por embalagem e a massa da amostra de trabalho para análise de pureza, quando não é especificado pela Regra de Análise de Sementes (RAS) (BRASIL, 2009).

Barroso et al. (2007), estudando diferentes cultivares de grão de bico semeados em duas épocas, Outono e Primavera, verificaram que a massa de 100 sementes, independentemente da variedade, foi semelhante nas duas datas de semeadura. No período de outono, os valores variaram 0,0357 kg com a variedade portuguesa Elvar para 0,0351 kg com a variedade Flip 99-46C. Na primavera, variou de 0,0365 também para a cultivar Elvar a 0,0228 kg com a cultivar Elf, ambas portuguesas.

Vales et al. (2014) explicam que nem sempre um menor teor de água nas sementes irá provocar uma massa de 100 grãos menor, pois sementes infestadas por fungos apresentam uma massa menor devido à perda de massa causada por danos desses microrganismos. Esses autores relataram esses fatos, a partir da avaliação do armazenamento de sementes de ervilhas em sacos plásticos de camada tripla, em que o menor teor de água foi alcançado em dois meses, no entanto, só aos oito meses de armazenamento ocorreu a menor massa de 100 sementes.

Outros autores investigaram o comportamento da massa de 100 grãos de bico em diferentes locais, com cultivares diferentes. Hoskem (2014), para a cultivar Cícero encontrou uma média de 0,054 kg, em Montes Claros - Minas Gerais. Já Vieira et al. (1999) na cidade de Viçosa - Minas Gerais, encontrou 0,039 kg de massa, para variedades do grupo kalubi, e na cidade de Janaúba - Minas Gerais, encontrou para a mesma cultivar Cícero 0,058 kg.

Para a massa de 100 grãos, em função do tempo de armazenamento, encontra-se na Figura 5, um R^2 de 81,57%. O comportamento quadrático que se observa, divergiu dos resultados de Scariot et al. (2018) que analisando a massa de mil grãos encontraram uma tendência linear de diminuição ao longo do período de armazenamento. Esses autores verificaram que para grãos de trigo colhidos com um teor de água de 28,6 % e armazenados no sistema hermético, mantiveram os valores de massa dos grãos independentemente do tempo de armazenamento. No entanto, para o armazenamento com teores de água de 12,9% não houve diferenças entre os sistemas hermético e convencional. Dessa forma, as oscilações da massa dos grãos durante o período de armazenamento são dependentes do teor de água.

De forma geral, a qualidade das sementes ao longo do período de armazenamento, é influenciada por vários fatores, sendo que a condição de temperatura e umidade relativa destacadas como as mais importantes (SMITH e BERJAK, 1995). Antonello et al. (2009), acrescentam ainda que o tipo de embalagem utilizada é determinante na qualidade fisiológica das sementes.

Os resultados da análise de variância, expressa pelo quadrado médio, para as variáveis: luminosidade, ângulo hue, croma e compressão uniaxial, estão presentes na Tabela 6. Observa-se que as variáveis de coloração do grão, ou seja, a luminosidade, o ângulo hue e o croma apresentaram diferença ($P < 0,05$) para a embalagem e para o tempo de armazenamento. Para a compressão uniaxial, apenas, o tempo de armazenamento foi significativo ($P < 0,05$).

TABELA 6 - Análise de variância, graus de liberdade (GL), quadrado médio (QM), para as variáveis: luminosidade (L), ângulo hue (°H), croma (Cr), e compressão uniaxial (Cp, N) para grãos de bico (*Cicer arietinum* L.) da cultivar BRS Cristalino, submetido a diferentes embalagens, papel Kraft e sacos plásticos de polietileno de baixa densidade (PEBD), durante 5 tempos de armazenamento (0, 30, 60, 90 e 120 dias), ao nível de significância de 5% de probabilidade.

Fonte de variação	GL	QM L	QM °H	QM Cr	QM Cp
Embalagem	1	160,66*	31,18*	29,91*	0,012 ^{ns}
Tempo	4	519,05*	63,38*	48,16*	282,32*
Embalagem*Tempo	4	13,26 ^{ns}	7,25 ^{ns}	2,00 ^{ns}	64,77 ^{ns}
Resíduo	20	10,66	2,67	0,899	40,59
Total	29				
	CV (%)	4,10	2,20	2,20	11,54
	Média	15,53	74,32	1,30	55,22

* Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade; CV - Coeficiente de variação.

Na Tabela 7, os resultados de luminosidade dos grãos são expressos em função da embalagem utilizada. Ressalta-se que os valores da embalagem de papel Kraft, tem a média 28,65, maior quando em comparação a embalagem PEBD, com a média de 24,03. Os fatores que afetam a cor dos alimentos incluem a própria degradação da cultivar, a acidez, o tempo, a temperatura e a contaminação por fungos e/ou metais pesados (GUZEL e SAYAR, 2012).

TABELA 7 - Luminosidade (*L) dos grãos de bico, cultivar BRS Cristalino, submetido a diferentes embalagens, papel Kraft e sacos plásticos de polietileno de baixa densidade (PEBD), ao nível de significância de 5% de probabilidade.

Embalagem	Luminosidade
Papel Kraft	28,65 a
PEBD	24,03 b

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey, à 5% de probabilidade.

A luminosidade dos grãos de bico, também mostrou diferença ($P \leq 0,05$) em função do tempo de armazenamento, Figura 6. Augusto et al. (2015), observando os valores de cor de diferentes cultivares de feijão constatou que esses dados também revelaram significância, variando de 33,31 a 38,90, os valores de *L.

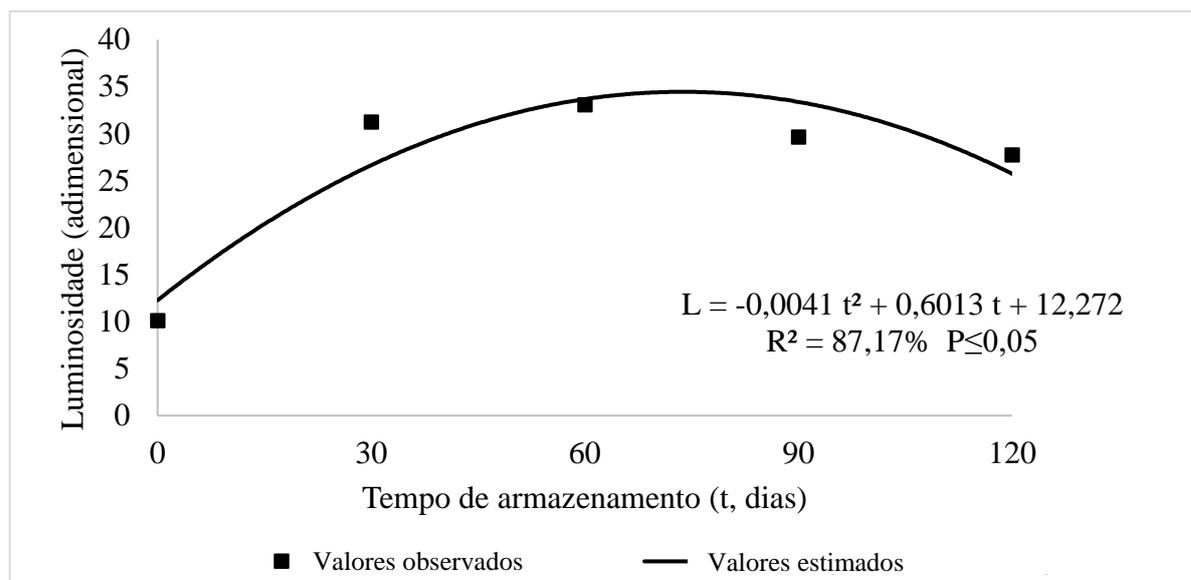


FIGURA 6. Luminosidade (L) dos grãos de bico (*Cicer arietinum* L.) da cultivar BRS Cristalino, em função do tempo de armazenamento (0, 30, 60, 90 e 120 dias).

Nota-se, na Figura 6, que até o sexagésimo dia de armazenamento, a tendência da coordenada L* foi aumentar até atingir o valor máximo desse armazenamento de 33,05. Seguindo até o 120º dia, a coordenada reduziu até os valores de 27,72. A diferença de cor dos grãos durante o armazenamento é observada quando há diferentes condições de temperatura e umidade (ALENCAR et al., 2009). Durante o período de armazenamento, o modelo que representou estatisticamente, com R² igual a 87,17%, foi o quadrático.

Resende (2006), relata que a cor pode ser influenciada pela presença de insetos e pragas, que perfuram o produto e expõem a coloração dos cotilédones. A variação na cor, parâmetro de qualidade, indica que mudanças ocorrem no produto, sendo muitas vezes resultados da desestruturação das membranas celulares que podem afetar as características de cor dos grãos (MARQUES et al., 2008).

Oliveira et al. (2016), avaliando a coloração de frutos de baru verificou que o aumento de luminosidade nos frutos ocorreu com a redução do teor de água. Acredita-se que esse comportamento seja resultado de um branqueamento nos frutos, observado em todas as temperaturas de secagem, não sendo desejado. Esses autores verificaram que os valores de ângulo hue aumentaram até o valor máximo de 62,48 graus para o teor de água de 22,5% (b.u), tendo sua diminuição influenciada pelo decréscimo de água, durante a secagem.

Contudo, Alencar et al. (2009), divergindo dos resultados do presente trabalho, com grãos de soja, expõem que à medida que se eleva o teor de água e sua temperatura, o aumento da coloração torna-se mais acentuada. Enquanto, que, uma coloração escura do grão irá indicar

o desenvolvimento acelerado de fungos, e por conseguinte elevação de grãos ardidos na amostra. Guedes (2010), verificou uma tendência de redução da luminosidade, observando grãos de soja armazenados com 20% de água, em que 1,72 de luminosidade foi reduzido, devido ao escurecimento no tegumento do grão.

O ângulo hue encontra-se na Tabela 8, em função da embalagem utilizada. Possui valores menores na embalagem de papel Kraft, com média de 73,30, em comparação a embalagem PEBD, com média de 75,34 graus, sendo esta última mais indicada.

TABELA 8 – Ângulo hue (°H) dos grãos de bico, cultivar BRS Cristalino, submetido a diferentes embalagens, papel Kraft e sacos plásticos de polietileno de baixa densidade (PEBD), ao nível de significância de 5% de probabilidade.

Embalagem	°H
Papel Kraft	73,30 b
PEBD	75,34 a

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey, à 5% de probabilidade.

Na Figura 7, o ângulo hue dos grãos de bico, é apresentado em função do tempo de armazenamento. Durante o período de armazenamento, o modelo que representou estatisticamente o ângulo hue, com R^2 igual a 81,56%, foi o quadrático.

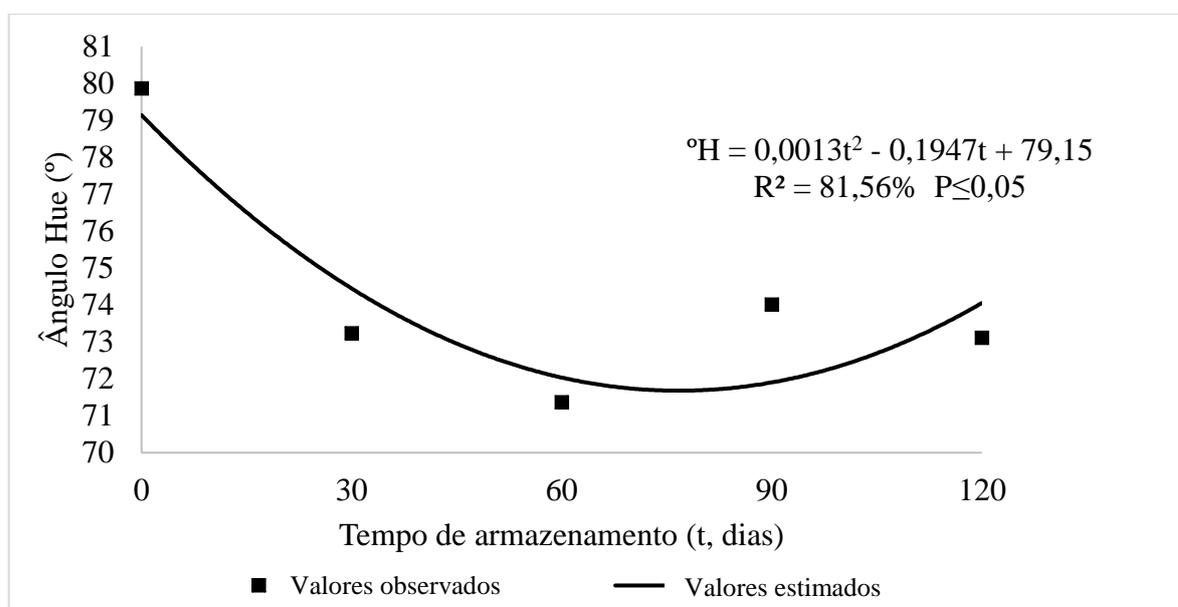


FIGURA 7. Ângulo hue (°H) dos grãos de bico (*Cicer arietinum* L.) da cultivar BRS Cristalino, em função do tempo de armazenamento (0, 30, 60, 90 e 120 dias).

Observa-se, que, na Figura 7, o ângulo hue no início do armazenamento apresenta-se mais elevado, e no decorrer dos períodos subsequentes apresenta menores oscilações. O menor ângulo hue foi encontrado no período de 60 dias, assim como para a variável luminosidade, que posteriormente aumentou no período de 90 dias. Os grãos independentemente do teor de água e da temperatura podem apresentar acréscimo na tonalidade da cor (ALENCAR et al., 2009). As determinações em grãos de soja, desses autores, também demonstraram que, a tonalidade da cor foi mais acentuada aos 90 dias, principalmente nas temperaturas de 20 e 30 °C, em relação a de 40 °C.

Já Guedes (2010) relata que no armazenamento da soja com diferentes teores de água, há efeitos significativos na intensidade da cor. Para o período 30º dia houve diferenças no teor de água de 14%, e nos períodos 90º a 110º armazenado com 16% e 20%, apresentaram diminuição na intensidade da cor vermelha.

Oliveira et al. (2000), relataram que a coloração dos grãos de café, varia em função dos teores de água e do tempo de armazenamento. Maiores valores nos teores de água proporcionaram maior índice de coloração, sendo que com 12,94% a cor apresentou valores indicados para a qualidade de bebida do café.

Para croma, submetida a diferentes embalagens, houve diferenças significativas ($P \leq 0,05$), Tabela 9.

TABELA 9 - Croma dos grãos de bico, cultivar BRS Cristalino, submetido a diferentes embalagens, papel Kraft e sacos plásticos de polietileno de baixa densidade (PEBD), ao nível de significância de 5% de probabilidade.

Embalagem	Croma
Papel Kraft	9,44 a
PEBD	7,44 b

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey, à 5% de probabilidade.

O croma apresentou diferenças entre as embalagens analisadas, conforme nota-se na Tabela 9. A embalagem papel Kraft proporcionou maiores valores de croma igual a 9,44, em média, do que para a embalagem PEBD com croma igual a 7,44.

A PEBD em geral, apresenta teores de água mais elevados que o papel Kraft, assim a diferença de 2 unidades, de uma embalagem para outra é explicado pela quantidade de água.

Grãos de bicos hidratados em diferentes temperaturas influenciam na caracterização física, como observado por Simoni (2017), para a análise colorimétrica. Ela explica que os

grãos nesse processo apresentaram maior tendência de cor amarela, um parâmetro que pode limitar a utilização dos produtos, dependendo das características desejáveis na aplicação.

Na Figura 8, é representado o valor de croma dos grãos de bico, em função do tempo de armazenamento.

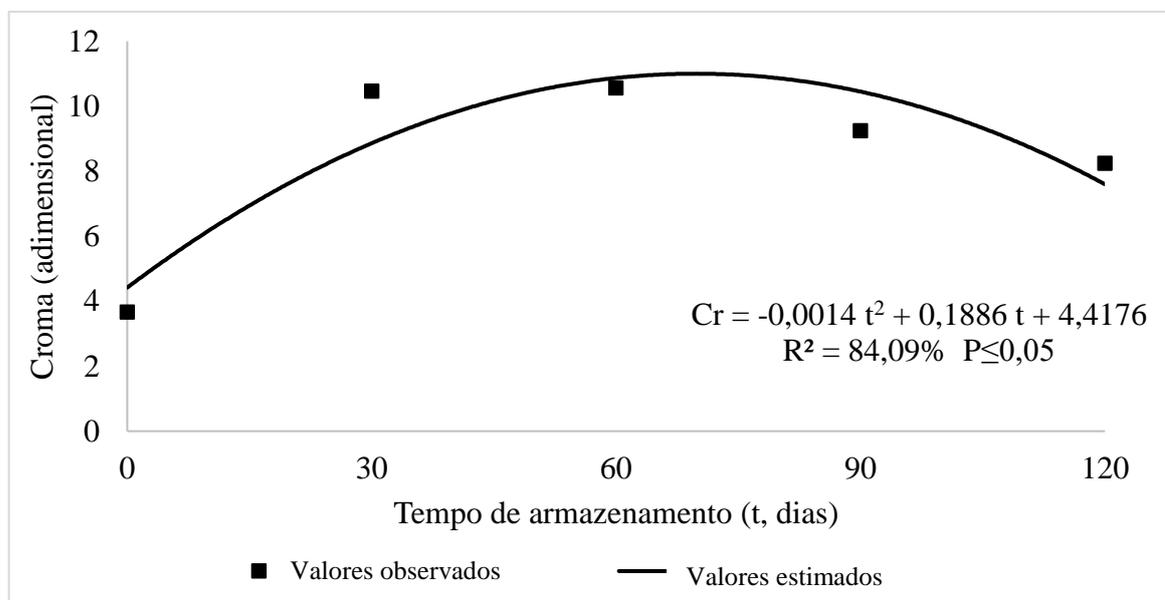


FIGURA 8. Croma (Cr) dos grãos de bico (*Cicer arietinum* L.) da cultivar BRS Cristalino, em função do tempo de armazenamento (0, 30, 60, 90 e 120 dias).

Verifica-se, na Figura 8, que, a variação do croma de grãos de bico, é elevar-se no início do armazenamento. Posteriormente, ocorre oscilações no croma, diminuindo de um período a outro. Guedes (2010) constatou uma tendência semelhante em grãos de soja armazenados, ou seja, o valor do croma era aumentado até o septuagésimo dia e, diminuído em seguida, sendo que o teor de 20% apresentava um comportamento mais acentuado, provavelmente devido à presença de fungos no tegumento.

Na Figura 8, os maiores índices de croma são encontrados para o período de armazenamento de 30 e 60 dias com 10,47 e 10,56. A saturação da cor em termos de pigmentos (croma) próximos a zero representam cores neutras (cinza) e valores próximos a 60 expressam cores mais vívidas (MENDONÇA et al., 2003), portanto as cores se apresentavam menos intensas para os grãos.

Alencar et al. (2009), adverte que a redução do croma está associado ao escurecimento do grão. Observaram que os valores de saturação de cor decresciam em grãos armazenados independentemente da temperatura de armazenamento, mas com relação ao teor de água, grãos com maiores índices de conteúdo apresentaram diminuição mais acentuada. Para grãos de bico

armazenados, o modelo escolhido para o croma foi o quadrático, que, apresentou um R^2 igual a 84,09%, com ajuste significativo estatisticamente ($P \leq 0,05$).

Os valores observados para a coloração dos grãos de bico demonstram pela compreensão do sistema de cor com as coordenadas de L^* , a^* e b^* que o produto tende a uma cor creme menos vívida. O teor de água na colheita mais elevado (40% b.u.) pode ter exercido influência na coloração do grão.

Shad e Atungulu (2019), estudando a descoloração de sementes e a atividade fúngica em cultivares de grãos de arroz híbrido armazenadas em ambiente e com tratamento fúngico, demonstraram que a descoloração do arroz foi altamente afetada pela temperatura e pelas condições e tempo de armazenamento.

A condição de armazenamento também foi observada por Brackmann et al. (2002), na análise da conservação de três genótipos de feijão por atmosfera controlada, durante dezoito meses de armazenamento, onde concluíram que a cor do tegumento dos grãos se manteve praticamente inalterada com a atmosfera controlada, ao contrário do produto armazenado em condições ambientes, que apresentaram um escurecimento maior no tegumento.

Demito et al. (2018), analisando grãos de feijão carioca com dois teores de água (13,8 e 16,7 %) em quatro temperaturas (12, 20, 28 e 36 °C), durante 240 dias, com análises a cada 80 dias, averiguaram que o armazenamento em temperaturas mais elevadas proporcionou o escurecimento dos grãos de feijão, além de aumentar o tempo de cocção e dureza ao longo do tempo. Afirmaram, assim que as menores temperaturas proporcionaram menores alterações na aparência visual, como também no tempo de cocção e dureza. Dessa forma, cogita-se que a manutenção da qualidade dos grãos é obtida em menores temperaturas de armazenamento.

Os resultados para a compressão uniaxial realizada nos grãos de bico em função do tempo de armazenamento, são apresentados na Figura 9.

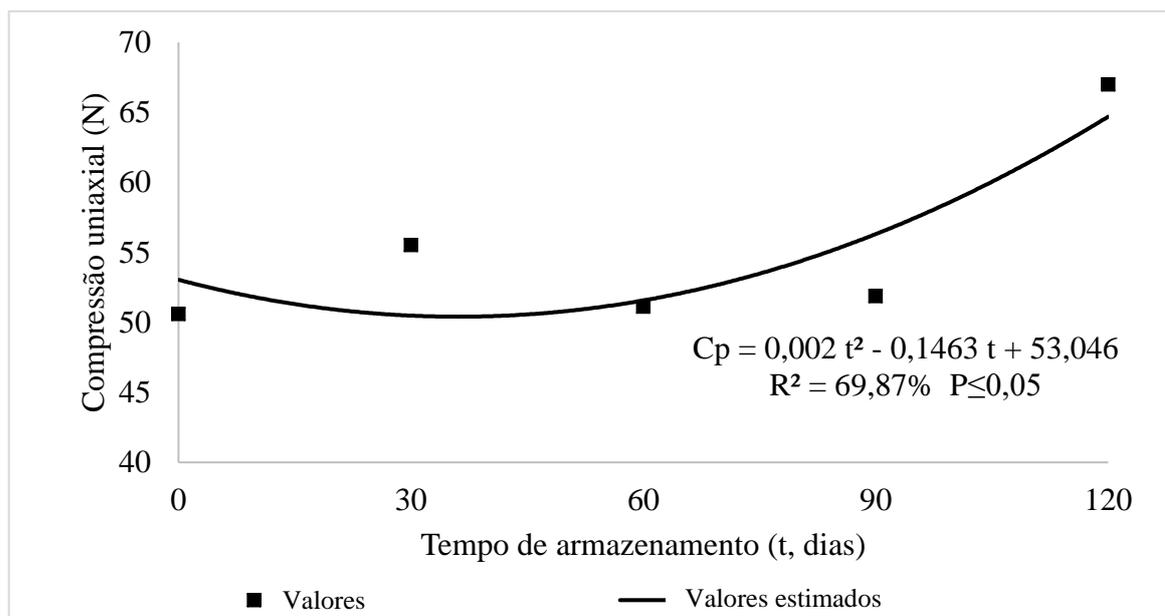


FIGURA 9. Compressão uniaxial, em Newton (N), dos grãos de bico (*Cicer arietinum* L.) hidratados a 60° C, cultivar BRS Cristalino, em função do tempo de armazenamento (0, 30, 60, 90 e 120 dias).

Verifica-se pela Figura 9, que, os grãos de bico umedecidos a 60 °C apresentaram maior compressão no final do período de armazenamento, com 67,0 N, um aumento de 24,48% em comparação ao menor valor obtido no período 0. Essa alteração pode ser explicada pelos constituintes químicos do grão, principalmente os carboidratos e as proteínas, que interagem com a água e modificam as moléculas dos grãos, podendo ficar mais enrijecidos, diferentes de seus estados originais (HUNT e PIXTON, 1974).

De acordo com Simoni (2017), grãos de bico esmagados após a hidratação, possuem menor força máxima requerida do que o grão seco, fato verificado significativamente pela análise de textura. Esse fator favorece a mastigabilidade do grão de bico e a etapa de cocção. Segundo a autora, este é um parâmetro importante ao considerar o processo de moagem do grão, além de ser determinante nas propriedades reológicas (viscosidade, plasticidade, elasticidade) de massas, em geral.

Simoni (2017), ainda, estudando diferentes cultivares de grão de bico, determinou que a BRS Aleppo, obtida por melhoramento, apresentou menor dureza do que a cultivar BRS Cícero. Assim, na escolha da variedade como matéria-prima, este fator pode ser determinante, nos interesses da indústria de alimentos.

Entretanto, Konak et al. (2002), observaram que em grãos de bico, a força de ruptura foi altamente dependente do teor de água. Os autores explicam que sementes com maior

teor de água tornam-se mais sensíveis a rachaduras, portanto se necessita de menor força para a ruptura.

Costa et al. (2002), expõem que a capacidade de hidratação é determinada a medida que as sementes em imersão absorvem água. Entre os fatores que interferem estão a composição química do revestimento das sementes e cotilédones. Essa absorção de água ocorre pela micropila, como também pelo hilo que apresentam estruturas ligadas ao grão.

Com ensaios de hidratação realizados a 65 °C com dissolução de corante azul de metileno na água de hidratação, Simoni (2017), verificou, utilizando imagens durante o tempo, que, inicialmente os grãos obtinham mais aderência na parte externa com discreta predominância de penetração pelo hilo, por meio da capilaridade (atração molecular da massa de água), seguido da difusão gradual pelo cotilédone.

A hidratação dos grãos em água, promove em geral, a redução da dureza. É considerada um fator importante, pois influencia na aceitação daquele produto, e auxilia na redução de gastos de tempo e energia durante o preparo (YILDIRIM et al., 2011).

Na hidratação, a água se distribui no interior do grão fazendo com que os cotilédones amoleçam. No entanto, quando um efeito conhecido como “hard-to-cook”, resultado de mudanças físicas e químicas que ocorrem nos cotilédones (KIGEL, 1999), ocorre, pode ser verificado um endurecimento ao longo do período de armazenamento, como observa-se na Figura. Para Yildirim et al. (2011), condições de umidade relativa maior que 65% e temperatura maior ou igual a 25 °C torna os grãos mais resistentes ao amaciamento durante a cocção.

Delalibera et al. (2008) salientam que mesmo não explicando a resistência dos grãos à ruptura por compressão, a quantidade de endosperma córneo presente nos grãos, pode influenciar nas propriedades mecânicas destes. Portanto, o grão que apresenta em sua constituição, uma quantidade de endosperma córneo maior que amiláceo, irá oferecer maior resistência à compressão.

No estudo de Simoni (2017), a força máxima necessária para esmagar o grão *in natura* foi de 415,1 e 523,5 N para as cultivares BRS Aleppo e BRS Cícero. Maiores índices foram encontrados para a cultivar BRS Cícero devido ao menor teor de amilose (molécula formada por resíduos de glicose) quando em comparação a BRS Aleppo. A dureza inicial de diferentes cultivares de grão de bico apresentou diferença significativa ($P < 0,05$).

Outras características como a posição do grão durante a compressão impactam a força de ruptura. Para Munder et al. (2017), estudando a força de ruptura em diferentes posições, encontraram na posição horizontal, ou seja, a de repouso, média de 50,1 N nas diferentes

classificações, para sementes de girassol com casca. Esses dados corroboram ao estudado para grãos de bico, na posição natural ou repouso.

Semelhantemente, também foi encontrada diferença significativa durante o armazenamento, de grãos de bico, cultivar Cristalino, em que se observou um aumento na compressão uniaxial dos grãos de bico. O modelo de regressão quadrático apresentou um melhor ajuste de R^2 de 69,87%, sendo significativo estatisticamente ($P \leq 0,05$).

Para as embalagens analisadas não houve diferença significativa na compressão uniaxial dos grãos de bico ($P > 0,05$). A diferença de teor de água encontrada de uma embalagem para outra não afetou nessa análise, pois acredita-se que as diferenças no conteúdo de água do grão não afetaram a forma deste de maneira significativa (DELALIBERA et al., 2008) como observado para a massa específica unitária e a porosidade. Esse autor explica ainda, que, a força aplicada na parte superior do grão, provavelmente excluiu parte da diferença de conteúdo de água presente nos grãos, uma vez que o embrião se encontra na parte inferior do mesmo.

Assim, os estudos que avaliam a integridade, a qualidade e a aceitação do produto a ser comercializado além de ser importantes para compreender o beneficiamento e a otimização dos processos industriais, no ganho de tempo e redução de custos, passam a ser cada vez mais exigidos por consumidores que buscam a padronização e o compromisso das empresas com a melhoria dos alimentos (SIMONI, 2017).

4. CONCLUSÕES

Nas condições em que foi desenvolvido este trabalho, pode-se concluir que:

- A qualidade física dos grãos foi influenciada pelos fatores embalagem e tempo de armazenamento.
- A embalagem de papel Kraft obteve coloração mais adequada ao longo do tempo de armazenagem.
- A embalagem PEBD apresentou desempenho adequado para a variação da massa ao longo do tempo de armazenagem.
- As variações de massa das embalagens, a massa de 100 grãos e a massa específica aparente, no decorrer do tempo, dependeram do teor de água do produto e das condições do ambiente de armazenamento.
- O tempo de armazenamento proporcionou ao grão de bico aumento da compressão uniaxial.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, A.C.; LIN, H.S. Tipo de embalagem, umidade inicial e período de armazenamento em sementes de feijão. **Scientia Agraria**, Paraná, v.4, n.1-2, p.21-26, 2003.
- ALENCAR, E.R.; FARONI, L.R.D.; LACERDA FILHO, A.F.; PERTENELLI, L.A.; COSTA, A.R. Qualidade dos grãos de soja armazenados em diferentes condições. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.5, p.606–613, 2009.
- ANTONELLO, L.M.; MUNIZ, M.F.B.; BRAND, S.C.; RODRIGUES, J.; MENEZES, N.L.; KULCZYNSKI, S.M. Influência do tipo de embalagem na qualidade fisiológica de sementes de milho crioulo. **Revista Brasileira de Sementes**, Santa Maria, v.31, n.4, p.75-86, 2009.
- ARAUJO, M.M.V. **Indicadores de qualidade em grãos de soja submetidos a diferentes condições de armazenamento**. 2014. 84p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2014.
- ARAUJO, W.D.; GONELI, A.L.D.; SOUZA, C.M.A.; GONÇALVES, A.; VILHASSANTI, H.C.B. Propriedades físicas dos grãos de amendoim durante a secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.3, p.279-286, 2014.
- ARTIAGA, O.P.; SPEHAR, C.R.; BOITEUX, L.S.; NASCIMENTO, W.M. Avaliação de genótipos de grão de bico em cultivo de sequeiro nas condições de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.10, n.1, p.102-109, 2015.
- ATHIÉ, I.; CASTRO, M.F.P.M.; GOMES, R.A.R.; VALENTINI, S.R.T. **Conservação de grãos**. Campinas: Fundação Cargill, 1998. 236 p. 1998.
- AVELAR, R.I.S. **Produção e qualidade de sementes de grão-de-bico em diferentes épocas de plantio e colheita no norte de Minas Gerais**. 2016. 103p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2016.
- AZEREDO, G.A.; ALCÂNTARA BRUNO, R.L.; LOPES, K.P.; SILVA, A.; DINIZ, E.; LIMA, A.A. Conservação de sementes De Amendoim (*Arachis Hypogaea* L.) em função do beneficiamento, embalagem e ambiente de armazenamento. **Revista Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.35, n.1, p.37-44, 2005.
- BARROSO, M.R.; MAGALHÃES, M.J.; CARNIDE, V.; MARTINS, S.; VEGAS, C.A.; CACHÓN, M.R. **Caracterização e avaliação de diferentes espécies de leguminosas grão na região de Trás-os-Montes**. Mirandela: Direcção Regional de Agricultura e Pescas do Norte (DRAPN), 2007. 65p. (Coleção Uma Agricultura com Norte).
- BAUDET, L. Armazenamento de Sementes. In: PESKE, S.T.; ROSENTHAL, M.D.; ROTA, G.M. (Ed.) **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. Pelotas: UFPel, 2003. p. 369 - 418.
- BORDIGNON, B.C.S. **Relação das condições de armazenamento com a qualidade fisiológica de sementes e composição do óleo extraído de cultivares de soja**. 2009. 90p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

BOTELHO, F.M.; CORREA, P.C.; BOTELHO, S.C.C.; VARGAS-ELIAS, G.A.; ALMEIDA, M.D.S.D.; OLIVEIRA, G.H.H. Propriedades físicas de frutos de café robusta durante a secagem: determinação e modelagem. **Coffee Science**, Lavras, v.11, n.1, p.65-75, 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA, 2009. 395p.

CAMPOS, R.C. **Propriedades físicas dos grãos de café moca durante o processo de torra**. 2016. 88p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

COLVILLE, L. Seed Storage. Kew: **Encyclopedia of Applied Plant Sciences**, 2^a Ed., v.1, 2017. p.335-339.

CORADI, P.C.; MILANE, L.V.; ANDRADE, M.G.O.; CAMILO, L.J.; SOUZA, A.H.S. Secagem de grãos de milho do cerrado em um secador comercial de fluxos mistos. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v.10, n.1, p.14-26, 2016.

COSTA, J.A.; PIRES, J.L.F.; THOMAS, A.L.; ALBERTON, M. Variedades de soja diferem na velocidade e capacidade de absorver água. **Scientia Agraria**, v.3, n.1-2, p.91-96, 2002.

DELALIBERA, H.C.; WEIRICH NETO, P.H.; COLET, M.J.; GARBUIO, P.W.; SVERZUT, C.B. Resistência de grãos de milho à ruptura por compressão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.9, p.2493-2497, 2008.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Pesquisa quer expandir produção de grão-de-bico no Cerrado**. 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/26182629/pesquisa-quer-expandir-producao-de-grao-de-bico-no-cerrado>> Acesso em: 17 abr. 2018.

FERREIRA, A.C.P.; BRAZACA, S.G.C.; ARTHUR, V. Alterações químicas e nutricionais do grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) cru irradiado e submetido à cocção. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.26, n.1, p.80-88, 2006.

FERREIRA, D.F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.6, p.1039-1042, 2014.

FELLOWS, P.J. Packaging. **Food Processing Technology**, p.949-1044, 2017.

FRANCIS, F.J. Quality as influenced by color. **Food Quality and Preference**, v.6, p.149-155, 1995.

GOERGEN, R. **Modelagem Matemática da Transferência de Calor em um Meio Particulado**. 2010. 84p. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática), Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2010.

GOIÁS. **Clima**. 2018, Goiás. Disponível em: <<http://www.goias.gov.br/paginas/conheca-goias/aspectos-fisicos/clima>> Acesso em: 01 jun. 2018.

GOOGLE EARTH. **Google Earth Pro**. Disponível em: <<https://www.google.com/intl/pt-BR/earth/desktop/>>. Acesso em: 03 abr. 2018.

GUEDES, M.A. **Características físicas de grãos utilizando processamento digital de imagens**. 2010. 376p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

GUZEL, D; SAYAR, S. Effect of cooking methods on selected physicochemical and nutritional properties of barlotto bean, chickpea, faba bean, and white kidney bean. **Journal Food Science Technology**, v.49, n.1, p.89-95, 2012.

HOSKEM, B.C.S. **Época de plantio de grão-de-bico em Montes Claros, Minas Gerais: Produtividade e qualidade de sementes**. 2014. 65p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2014.

HOU, H. J.; CHANG, K. C. Storage conditions affect soybean color, chemical composition and tofu qualities. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.28, n.1, p.473-488, 2004.

HUNT, W.H.; PIXTON, S.W. Moisture: its significance, behavior, and measurement. In: CHRISTENSEN, C.M. Storage of cereal grain and their products. St. Paul: **American Association of Cereal Chemists**, 1974. p.1-55.

ISIK, E.; UNAL, H. Moisture-dependent physical properties of white speckled red kidney bean grains. **Journal of Food Engineering**, v.82, n.1, p.209–216, 2007.

KHATCHATOURIAN, O. A.; SAVICKI, D. L. Mathematical modelling of airflow in an aerated soya bean store under non-uniform conditions. **Biosystems Engineering**, v.88, n.2, p.201-211, 2004.

KIANE DEH KIANI, M.; MINAEI, S.; MAGHSOUDI, H.; GHASEMI VARNAMKHASTI, M. Moisture dependent physical properties of red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grains. **International Agrophysics**, v.22, n.1, p.231-237, 2008.

KIGEL, J. Culinary and nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* seeds as affected by environmental factors. **Biotechnologie Agronomie Society Environment**, v.3, n.4, p.205-209, 1999.

KNOB, A.H. **Aplicação do processamento de imagens digitais para análise da anisotropia da massa de grãos**. 2010. 71p. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2010.

KONAK, M.; ÇARMAN, K.; AYDIN, C. Physical Properties of Chick Pea Seeds. **Biosystems Engineering** v.82, n.1, p.73-78, 2002.

KOUA, B.K.; KOFFI, P.M.E.; GBAHA, P. Evolution of shrinkage, real density, porosity, heat and mass transfer coefficients during indirect solar drying of cocoa beans. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v.18, n.1, p.72–82, 2019.

KUO, T.Y.; CHUNG, C.L.; CHEN, S.Y.; LIN, H.A.; KUO, Y.F. Identifying rice grains using image analysis and sparse-representation-based classification. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.127, n.1, p.716–725, 2016.

LAZZARI, F.A. Controle de micotoxinas no armazenamento de grãos e subprodutos. In: MOLIN, R.; VALENTINI, M.L. **Simpósio sobre micotoxinas em grãos**. São Paulo: Fundação Cargill. 1999. p. 81-106. 1999.

LOPES, J.C., CAPUCHO, M.T. Estudo sobre a conservação de sementes de feijão. **Informativo ABRATES**, Londrina, v.3, n.4, p.42, 1993.

LUO, X.; JAYAS, D.S.; SYMONS, S.J. Identification of damaged kernels in wheat using a colour machine vision system. **Journal of Cereal Science**, v.30, n.1, p.49–59, 1999.

MARSH, K.S. Polymer and plastic packaging. Global Food Security: **Woodstock Institute for Science & the Humanities** (DBA WISSH.org), Seneca, 2016. 2p.

MARTINS, L.; LAGO, A.A. Conservação de sementes de *Cedrela fissilis*: Teor de água da semente e temperatura do ambiente. **Revista Brasileira de Sementes**, v.30, p.161-167, 2008.

MAYOR, L.; SERENO, A.M. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. **Journal of Food Engineering**, v.61, n.1, p.373-386, 2004.

McDONALD, M.B. Seed Deterioration: Physiology Repair and Assessment. *Seed Science and Technology*, v. 27, n. 1, p. 177-237, 1999.

MINOLTA. **Precise color communication**: color control from feeling to instrumentation. Ramsey: Minolta Corporation Instrument Systems Division, 1994. 49p.

MOHAMMADI, S.Z.; ATUNGULU, G.G. Post-harvest kernel discoloration and fungi activity in long-grain hybrid, pureline and medium-grain rice cultivars as influenced by storage environment and antifungal treatment. **Journal of Stored Products Research**, v.81, n.1, p.91-99, 2019.

MOHSEIN, N.N. **Physical properties of plant and animal materials**. Gordon and Breach Publishers, New York, 1986. 841p.

MRAD, R.; ROUPHAEL, M.; MAROUN, R.G.; LOUKA, N. Effect of expansion by “Intensification of vaporization by decompression to the vacuum” (IVDV) on polyphenol content, expansion ratio, texture and color changes of Australian chickpea. **Journal Food Science and Technology**, Beirut, v.59, n.1, p.874-882, 2014.

MUNDER, S.; ARGYROPOULOS, D.; MÜLLER, J. Propriedades físicas de sementes de girassol com e sem casca classificadas na separação por ar. **Engenharia de Biosistemas**, Londres, v.164, n.1, p.124-134, 2017.

NADALETI, D.H.S.; REIS, I.B.; MENDONÇA, L.M.V.L.; MENDONÇA, J.M.A.; EVARISTO, C.H.; ROCHA, H.A.; PEREIRA, S.P. Avaliação em grãos do café especial torrado em diferentes condições de acondicionamento. In: 41º CONGRESSO BRASILEIRO

DE PESQUISAS CAFEEIRAS, n.41, 2015, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas, CBPC, 2015, p.233-234.

NASCIMENTO, W.M.; PESSOA, H.B.S.V.; GIORDANO, L.B. **Cultivo do grão de bico (*Cicer arietinum* L).** Brasília: EMBRAPA Hortaliças, 1998. (Instruções Técnicas 14) 12p.

NIKOOBIN, M.; MIRDAVARDOOST, F.; KASHANINEJAD, M.; SOLTANI, A. Moisture-dependent physical properties of chickpea seeds. **Gorgan**, Iran, 2008. p.544-564.

OLIVEIRA, G.A.; VILELA, E.R.; BORÉM, F.M.; GODINHO, R.P. Influência da umidade dos grãos de café (*Coffea arabica* L.) na cor e acidez durante o armazenamento. 2000. Disponível em: <http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/spcb_anais/simposio1/Pos6.pdf> Acesso em: 09 de março de 2019.

OLIVEIRA, T. M. de; PIROZI, M. R.; BORGES, J. T da S.; GERMANI, R.; FONTES, M. P. F. Caracterização do amido de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.). **B. CEPPA**, Curitiba, v.27, n.1, p.27-42, 2009.

OMOBUWAJO, O.T., AKANDE, A.E., SANI, A.L., 1999. Selected physical, mechanical and aerodynamic properties African Breadfruit (*Treculia africana*) seeds. **Journal of Food Eng.**, v.40, n.1, p.241–244, 1999.

PAGNAN, M.F.; BASSINELLO, P.Z.; PRUDENCIO, S.H. Características sensoriais, físicas e químicas e aceitação de arroz irrigado ou de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.50, n.10, p.979-988, 2017.

PARAGINSKI, R.T.; VANIER, N.L.; BERRIOS, J.J.; OLIVEIRA, M.; ELIAS, M.C. Physicochemical and pasting properties of maize as affected by storage temperature. **Journal of Stored Products Research**, 2014.

PESKE, S.T. Secagem de sementes. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, FAEM,1991. 65p.

POMERANZ, Y. Biochemical, functional and nutritive changes during storage. In: CHRISTENSEN, C.M. **Storage of cereal grains and their products**. 2 ed., c.2, p.56-114. St. Paul: AACC, 1974.

POPINIGIS, F. Fisiologia de sementes. Brasília: AGIPLAN, 1985. 289p.

PUZZI, D. **Abastecimento e armazenagem de grãos**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. 1986. 603p.

PUZZI, D. **Abastecimento e armazenamento de grãos**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 2000.

RESENDE, O. **Variação das propriedades físicas e mecânicas e da qualidade do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) durante a secagem e o armazenamento**. 2006. 197p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

SAMISTRATO, G.; MUNIZ, G.I.B. Previsão das propriedades físicas do papel kraft por espectroscopia no infravermelho próximo (nir) e regressão por mínimos quadrados parciais (PLS). **Química Nova**, v.32, n.6, 1422-1425, 2009.

SANKARAN, S.; WANG, M.; VANDEMARK, G.J. Image-based rapid phenotyping of chickpeas seed size. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, Amesterdã, v.9, n.1, p.50-55, 2016.

SATHE, S.K. Beans: Overview. **The legumes and pseudocereals**. 297-306p. 2016

SCARIOT, M.A.; RADÜNZ, L.L.; DIONELLO, R.G.; TONI, J.R.; MOSSI, A.J.; REICHERT JUNIOR, F.W. Quality of wheat grains harvested with different moisture contents and stored in hermetic and conventional system. **Journal of Stored Products Research**, v.75, n.1, p.29-34, 2018.

SHA, Z.M.; ATUNGULU, G.G. Post-harvest kernel discoloration and fugi activity in long-grain hybrid, pureline and médium-grain rice cultivars as influenced by storage environment and antifungal treatment. **Journal of Stored Products Research**, v.81, n.1, p.91-99, 2019.

SHARMA, R.D. **Algumas informações sobre a cultura do grão de bico (*Cicer arietinum* L.)**. Planaltina: EMBRAPA, 1984. 20p.

SIDDIQUE, K.H.M. Chickpea: Agronomy. **Encyclopedia of Food Grains: 2º Ed. Agronomy of grain growing**. 2016. p.216-222.

SIMONI, R.C. **Hidratação de grão-de-bico (*Cicer Arietinum* L.): estudo cinético e influência na qualidade tecnológica do grão**. 2017. 134p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

SMITH, M.T.; BERJAK, P. Deteriorative changes associated with the los viability of stored desications of seed associated Mycroflora during atorage. In: JAIME, K.; GALILI, G. **Seed development and germination**. New York: Basel-Hang Young, 1995. p.701-746.

SPEROTTO, F.C.S.; BIAGGIONI, M.A.M.; SILVA, M.A.P.; BRANDÃO, F.J.B.; SAATH, R. Qualidade dos grãos e da bebida do café armazenados em dois tipos de embalagens e dois tipos de processamento. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v.30, n.2, p.210-216, 2015.

SURIYONG, S.; KRITTIGAMASA, N.; PINMANEEB, S.; PUNYALUEB, A.; VEARASILP, S. Influence of storage conditions on change of hemp seed quality. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v.5, n.1, p.170 – 176, 2015.

VAHAMIDIS, P.; STEFOPOULOU, A.; KOTOULAS, V.; LYRA, D.; DERCAS, N.; ECONOMOU, G. Yield, grain size, protein content and water use efficiency of null-LOX malt barley in a semiarid Mediterranean agroecosystem. **Field Crops Research**, Athens, v.206, n.1, p.115-127, 2017.

VALES, M.I.; RAO, G.V.R.; SUDINI, H.; PATIL, S.B.; MURDOCK, L.L. Effective and economic storage of pigeonpea seed in triple layer plastic bags. **Journal of Stored Products Research**, p.1-10, 2014. *In press*.

VIEIRA, R.F.; RESENDE, M.A.V. de; CASTRO, M.C.S. de. Comportamento de cultivares de grão-de-bico na Zona da Mata e Norte de Minas Gerais. **Horticultura Brasileira**, Brasília, vol.17, n.2, p.166-170, 1999.

WEBER, E.A. **Excelência em beneficiamento e armazenagem de grãos**. Porto Alegre: Ed. la Salle, 1ªed. 2005, 586p.

YILDIRIM, A.; ONER, M.D.; BAYRAM, M. Fitting fick's model to analyze water diffusion into chickpeas during soaking with ultrasound treatment. **Journal of Food Engineering**, v.104, n.1, p.134-142, 2011.