

INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS CERES
BACHARELADO EM AGRONOMIA
GABRIEL PAMPHELLY LIMA REZENDE

PROPRIEDADES FÍSICAS DE SEMENTES DE PIMENTA MALAGUETA

CERES - GO
2021

GABRIEL PAMPHELLY LIMA REZENDE

PROPRIEDADES FÍSICAS DE SEMENTES DE PIMENTA MALAGUETA

Trabalho de curso apresentado ao curso de Bacharelado em Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia, sob orientação do Prof. Dr. Renato Souza Rodovalho.

**CERES - GO
2021**

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

R467p Rezende, Gabriel Pamphilly Lima
Propriedades físicas de sementes de pimenta
malagueta / Gabriel Pamphilly Lima Rezende;
orientador Renato Souza Rodovalho. -- Ceres, 2021.
15 p.

Monografia (Graduação em Bacharelado em Agronomia)
-- Instituto Federal Goiano, Campus Ceres, 2021.

1. Capsicum frutescens L.. 2. Contração
volumétrica. 3. Modelo Linear. 4. Secagem. I.
Rodvalho, Renato Souza , orient. II. Título.



TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia - Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Gabriel Pamphilly Lima Rezende
 Matrícula: 2016103200210118
 Título do Trabalho: "Propriedades Físicas de Rementes de Pimenta Malagueta"

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 26/03/2021

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não
 O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Perer _____ 26/03/2021
 Local Data

Gabriel Pamphilly Lima Rezende
 Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Renato Sauer Roberto

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos três dias do mês de março do ano de dois mil e vinte e um, realizou-se a defesa de Trabalho de Curso do acadêmico Gabriel Pamphilly Lima Rezende, do Curso de Bacharelado em Agronomia, matrícula 2016103200210118, cujo título é “Propriedades físicas de sementes de pimenta malagueta”. A defesa iniciou-se às 18 horas e 30 minutos, finalizando-se às 20 horas e 15 minutos. A banca examinadora considerou o trabalho APROVADO com média 7,76 no trabalho escrito, média 8,66 no trabalho oral, apresentando assim média aritmética final de 8,21 pontos, estando o estudante APTO para fins de conclusão do Trabalho de Curso.

Após atender às considerações da banca e respeitando o prazo disposto em calendário acadêmico, o estudante deverá fazer a submissão da versão corrigida em formato digital (.pdf) no Repositório Institucional do IF Goiano – RIIF, acompanhado do Termo Ciência e Autorização Eletrônico (TCAE), devidamente assinado pelo autor e orientador.

Os integrantes da banca examinadora assinam a presente.

(Assinado Eletronicamente)
Renato Souza Rodovalho

(Assinado Eletronicamente)
Ariel Muncio Compagnon

(Assinado Eletronicamente)
Luciana Borges e Silva

Documento assinado eletronicamente por:

- Luciana Borges e Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 03/03/2021 20:09:48.
- Ariel Muncio Compagnon, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 03/03/2021 20:08:46.
- Renato Souza Rodovalho, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 03/03/2021 20:06:57.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 17/02/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 240433
Código de Autenticação: 20d66f5785



Dedico este trabalho a Deus por me abençoar constantemente e iluminar minha trajetória, aos meus pais e familiares que também contribuíram para a sua realização, despertando assim, minha inspiração e dedicação.

Esteios de minha vida, sem vocês, este e muito dos meus sonhos não se concretizariam.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e permitir que desta tenha plena saúde, possibilitando que tudo isso acontecesse e que em todo decorrer da minha existência foi e sempre será o maior de todos os mestres.

Aos meus pais Marcones de Lima Godinho e Sueneily Rosa de Rezende Lima e ao meu irmão Lucas Pamphilly Lima Rezende, sou grato pelo amor incondicional, pelos ensinamentos, pelo apoio e confiança a mim depositados. Aos meus avós Sebastião Pereira de Rezende e Marcia Regina Rosa de Rezende, que despertaram em mim a paixão pelo meio rural, sempre me incentivando a conquistar meus objetivos e se dispondo à ajuda sem medir esforços. Obrigado família por tudo que fizeram e ainda fazem por mim e por estarem ao meu lado, vocês também são protagonistas deste sonho.

Ao Professor Dr. Renato Souza Rodovalho, por me orientar nesta fase imprescindível da minha vida acadêmica e contribuir no aprimoramento do trabalho proposto, reconheço sua persistência desde o início quando o procurei, sua paciência e atenção sempre que houvera dúvidas ou alguns empecilhos e o seu compromisso para com a educação pública brasileira. Acima de tudo, a amizade e os valores éticos difundidos serão levados por toda vida profissional.

Um agradecimento em especial ao Instituto Federal Goiano – Campus Ceres, juntamente ao seu corpo docente, todo quadro de servidores e colaboradores e a coordenação do curso de Bacharelado em Agronomia, enfim, agradeço a oportunidade ímpar pela qualidade e base de aprendizado, a estruturação concedida pela Instituição e a busca por formar verdadeiramente indivíduos de caráter ético para o mercado de trabalho, influenciando ao senso crítico e não como massa de manobra. E é claro, por contribuírem no meu crescimento tanto intelectual quanto pessoal.

Aproveito ainda para agradecer a uma das principais figuras deste país e principalmente da Engenharia Agrônômica, aos produtores rurais, por toda sua luta diária.

E por fim, aos queridos amigos que levarei por toda a vida e até mesmo àqueles que direta ou indiretamente contribuíram em minha formação acadêmica, o meu sincero obrigado.

*“O conhecimento serve para encantar as pessoas,
não para humilhá-las”.*

Mário Sérgio Cortella

RESUMO

A pimenta malagueta pertencente à família Solanaceae, tem destaque no mercado comercial brasileiro. As propriedades físicas dos produtos agrícolas são alteradas no processo de secagem, assumindo-se grande importância o estudo de condições ideais para um desenvolvimento correto nos manejos de colheita e pós-colheita, que irão influenciar na conservação da qualidade de sementes. Objetivou-se neste trabalho, estudar o efeito da secagem nas propriedades físicas de sementes de *Capsicum frutescens* L., ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados de contração volumétrica experimental e identificar o modelo que melhor represente este fenômeno. O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Preparo de Amostras do Instituto Federal Goiano - Campus Ceres. Os frutos de pimenta malagueta foram colhidos na Fazenda Cachoeira, no município de Jaraguá - GO, as sementes foram extraídas de forma manual e, em seguida, submetidas a secagem a 30 °C. Prosseguiu-se com as análises das propriedades físicas para o teor de água das sementes, a taxa de redução de água, densidade, a porosidade, os eixos ortogonais, os dimensionamentos geométricos e o índice de contração volumétrica. Cinco modelos matemáticos foram ajustados aos dados experimentais de contração volumétrica, e a partir dos critérios estatísticos selecionou-se o melhor. Observou-se uma redução nos valores das propriedades físicas de acordo com o tempo de secagem e, também, a redução do teor de água. Conclui-se que o processo de secagem afeta as propriedades físicas das sementes de pimenta malagueta, e que o modelo Linear foi o melhor modelo representativo para contração volumétrica.

Palavras-chave: *Capsicum frutescens* L.; contração volumétrica; modelo Linear; secagem.

ABSTRACT

Chilli peppers belonging to the Solanaceae family, are prominent in the Brazilian commercial market. The physical properties of agricultural products are altered in the drying process, assuming great importance the study of ideal conditions for a correct development in harvest and post-harvest management, which will influence the conservation of seed quality. The objective of this work was to study the effect of drying on the physical properties of *Capsicum frutescens* L. seeds, to adjust different mathematical models to the experimental volumetric contraction data and to identify the model that best represents this phenomenon. The work was developed at the Sample Preparation Laboratory of the Federal Institute of Goiás - Campus Ceres. The chili pepper fruits were harvested at Fazenda Cachoeira, in the municipality of Jaraguá - GO, the seeds were extracted manually and then subjected to drying at 30 °C. The analysis of the physical properties for the water content of the seeds, the rate of water reduction, density, porosity, orthogonal axes, geometric dimensioning and the volumetric contraction index was continued. Five mathematical models were adjusted to the experimental data of volumetric contraction, and from the statistical criteria the best was selected. There was a reduction in the values of physical properties according to the drying time and, also, a reduction in the water content. It was concluded that the drying process affects the physical properties of chili pepper seeds, and that the Linear model was the best representative model for volumetric contraction.

Keywords: *Capsicum frutescens* L.; drying; Linear model; volumetric contraction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ilustração esquemática da semente de pimenta malagueta e suas dimensões características, em que: maior eixo (a), eixo intermediário (b) e menor eixo(c).....	05
Figura 2 – Dados experimentais da secagem à temperatura do ar de 30 °C (a); e taxa de remoção de água kg (kgh) ⁻¹ das sementes de pimenta malagueta submetidas ao processo de secagem (b)	09
Figura 3 – Valores de densidade calculados e estimados em função do tempo de secagem das sementes de pimenta malagueta	09
Figura 4 – Valores da porosidade calculados em função do teor de água das sementes de pimenta malagueta	10
Figura 5 - Dimensões dos eixos ortogonais (a,b e c) das sementes de pimenta malagueta em função do tempo de secagem	11
Figura 6 – Dimensões dos índices de circularidade (Ci) e esfericidade (Es) das sementes de pimenta malagueta em função do tempo de secagem	11
Figura 7 – Dados experimentais da secagem à temperatura do ar de 30 °C, para distribuição dos valores dimensionais do volume das sementes (Vg), diâmetro geométrico (Dg) e índice de contração volumétrica (Ψ)	12

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Modelos utilizados para simular o índice de contração volumétrica em produtos agrícolas.....	07
Tabela 2 – Modelos de contração volumétrica das amostras de sementes de pimenta malagueta com seus respectivos coeficientes de determinação (R²), erros médios relativo (P) e estimado (SE), teste qui-quadrado (X²) e parâmetros dependentes dos produtos (a₁), (a₂), (a₃)	13

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	02
MATERIAL E MÉTODOS	04
RESULTADOS E DISCUSSÃO	08
CONCLUSÕES	13
REFERÊNCIAS	14

Artigo Científico

Propriedades físicas de sementes de pimenta malagueta

Physical properties of chilli pepper seeds

Resumo – A pimenta malagueta pertencente à família Solanaceae, tem destaque no mercado comercial brasileiro. As propriedades físicas dos produtos agrícolas são alteradas no processo de secagem, assumindo-se grande importância o estudo de condições ideais para um desenvolvimento correto nos manejos de colheita e pós-colheita, que irão influenciar na conservação da qualidade de sementes. Objetivou-se neste trabalho, estudar o efeito da secagem nas propriedades físicas de sementes de *Capsicum frutescens* L., ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados de contração volumétrica experimental e identificar o modelo que melhor represente este fenômeno. O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Preparo de Amostras do Instituto Federal Goiano - Campus Ceres. Os frutos de pimenta malagueta foram colhidos na Fazenda Cachoeira, no município de Jaraguá - GO, as sementes foram extraídas de forma manual e, em seguida, submetidas a secagem a 30 °C. Prosseguiu-se com as análises das propriedades físicas para o teor de água das sementes, a taxa de redução de água, densidade, a porosidade, os eixos ortogonais, os dimensionamentos geométricos e o índice de contração volumétrica. Cinco modelos matemáticos foram ajustados aos dados experimentais de contração volumétrica, e a partir dos critérios estatísticos selecionou-se o melhor. Observou-se uma redução nos valores das propriedades físicas de acordo com o tempo de secagem e, também, a redução do teor de água. Conclui-se que o processo de secagem afeta as propriedades físicas das sementes de pimenta malagueta, e que o modelo Linear foi o melhor modelo representativo para contração volumétrica.

Palavras-chave adicionais: *Capsicum frutescens* L.; contração volumétrica; modelo Linear; secagem.

Abstract – Chilli peppers belonging to the Solanaceae family, are prominent in the Brazilian commercial market. The physical properties of agricultural products are altered in the drying process, assuming great importance the study of ideal conditions for a correct development in harvest and post-harvest management, which will influence the conservation of seed quality. The objective of this work was to study the effect of drying

on the physical properties of *Capsicum frutescens* L. seeds, to adjust different mathematical models to the experimental volumetric contraction data and to identify the model that best represents this phenomenon. The work was developed at the Sample Preparation Laboratory of the Federal Institute of Goiás - Campus Ceres. The chili pepper fruits were harvested at Fazenda Cachoeira, in the municipality of Jaraguá - GO, the seeds were extracted manually and then subjected to drying at 30 °C. The analysis of the physical properties for the water content of the seeds, the rate of water reduction, density, porosity, orthogonal axes, geometric dimensioning and the volumetric contraction index was continued. Five mathematical models were adjusted to the experimental data of volumetric contraction, and from the statistical criteria the best was selected. There was a reduction in the values of physical properties according to the drying time and, also, a reduction in the water content. It was concluded that the drying process affects the physical properties of chili pepper seeds, and that the Linear model was the best representative model for volumetric contraction.

Additional keywords: *Capsicum frutescens* L.; drying; Linear model; volumetric contraction.

Introdução

As pimentas (*Capsicum spp.*) pertencem à família botânica Solanaceae e têm como centro de diversidade natural regiões tropicais das Américas (Melo et al., 2014). Consideradas como uma das especiarias mais consumidas no mundo (Rebouças et al., 2013), as pimentas exercem grande importância no mercado nacional (Caixeta et al., 2014), seja pelo comércio de seus produtos gerando renda ao produtor rural (Ricci et al., 2013) ou pelos benefícios para humanidade, tais como alimentação e nutrição, medicina e cosméticos (Dagnoko et al., 2013).

Nos últimos anos, a crescente demanda interna e externa por pimentas tem acarretado a expansão das áreas de cultivo em vários estados brasileiros (Rebouças et al., 2013), como também, a exigência por sementes de elevado potencial fisiológico. Entretanto, para atender essa exigência é necessária a adoção de tecnologias adequadas para produção (Caixeta et al., 2014), principalmente aquelas envolvidas nas etapas de colheita, secagem e armazenamento.

A pimenta malagueta (*Capsicum frutescens* L.) apresenta alto teor de capsaicina, também altos níveis de oxidante usados em medicina (Aldana et al., 2015). O teor de água das sementes durante a colheita não é adequado para o seu armazenamento, fazendo com que o processo de secagem seja necessário (Abud et al., 2013).

Durante o armazenamento a temperatura regula a velocidade dos processos bioquímicos e respiratórios das sementes (Bewley et al., 2013). Quanto maior a magnitude desse fator, mais rapidamente as sementes se deterioram (Segnou et al., 2012), ou seja, o seu vigor reduz progressivamente quando estas são expostas a condições inadequadas de armazenamento. Nas etapas do processo produtivo, a secagem torna-se imprescindível para garantir a qualidade da semente, reduzir a ocorrência de doenças e pragas, auxiliando no armazenamento e distribuição (Ravindran et al., 2000).

A secagem é uma etapa do pré-processamento de pós-colheita que visa retardar a deterioração das sementes durante a fase de armazenamento. Este processo consiste em reduzir a água na semente possibilitando a redução da atividade biológica, física e química comumente ocorridas durante esse período (Carvalho e Nakagawa, 2012). Portanto, o conhecimento da qualidade final da semente após o seu período de secagem e armazenamento torna-se necessário para melhorias do seu próprio processo de beneficiamento (Abud et al., 2013).

A secagem adequada permite a conservação de características fisiológicas das sementes durante o armazenamento, muito importante para a comercialização, plantio e consumos dos produtos. Além disso, permite antecipação da colheita evitando perdas de natureza diversa durante o processo produtivo. Com isso há preservação de sua capacidade germinativa, sendo importante entender o nível ideal de umidade e temperatura das sementes (Peske et al., 2003). No entanto, os índices ideais para este processo podem variar de acordo com a espécie e variedade do material armazenado (Aldana et al., 2015). Os estudos relacionados as propriedades físicas de sementes são importantes para o dimensionamento de equipamentos relacionados a transbordo, pré-etapas de beneficiamento e armazenamento, regulação de máquinas de pré-limpeza, secagem e embalagem (Silva e Corrêa, 2008).

Ratti (1994) e Sokhansanj & Lang (1996) relatam que as causas das alterações das principais propriedades físicas de produtos agrícolas, se deve em razão de sua desidratação. A relação entre o volume da semente, o teor de água e o volume inicial são determinados pelo índice de contração volumétrica. Sendo possível assim, indicar o volume reduzido ocupado pela massa da semente em função da redução do seu teor de água (Siqueira et al., 2012). Bem como é relatado por Ramos et al. (2005), que algumas alterações no produto referente à sua contração volumétrica também devem ser incluídas em modelos matemáticos para descrição completa e precisa na análise dos fenômenos de secagem.

Diante o abordado, considerando-se a relevância desta cultura, a escassez de informações sobre seu comportamento no processo de secagem e a variabilidade existente nas propriedades físicas das sementes de pimenta, o objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da secagem nas propriedades físicas de sementes

de pimenta malagueta, ajustar diferentes modelos matemáticos a dados de contração volumétrica experimental e identificar o modelo que melhor represente este fenômeno.

Material e métodos

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Preparo de Amostras do Instituto Federal Goiano - Campus Ceres, no período de fevereiro de 2020. Para condução do experimento foram colhidos frutos de pimenta variedade Malagueta (*Capiscum frutescens* L.) por ocasião da maturação dos mesmos (coloração avermelhada), oriundos da Fazenda Cachoeira, localizada no município de Jaraguá – GO, no entorno das coordenadas 22 L UTM. Com o auxílio de estilete e pinça foi realizada a extração das sementes de acordo com a metodologia de Ricci et al. (2013), a fim de não danificá-las. Após extração, as sementes foram submetidas a secagem natural por 48 horas, mantidas em repouso e em ambiente ventilado. Foram extraídos, aproximadamente, 0,6 kg de sementes.

Para tratamento de secagem as amostras mantiveram-se acondicionadas em B.O.D. a 30°C e feitas sucessivas avaliações das propriedades físicas em intervalo de 40 minutos até estabilização. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com dois tratamentos e quatro repetições para cada tratamento. Optando-se pela temperatura de 30°C em razão de ser este, um valor mínimo trabalhado nos diversos estudos de secagem de produtos agrícolas.

Quanto às propriedades físicas analisadas foram:

- O teor de água das sementes foi determinado pelo método de estufa a 105 °C ± 3°C por 24 horas e expressada em porcentagem, referenciado pela metodologia descrita nas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009).

- A taxa de redução de água em sementes de pimenta malagueta, obtida a partir dos teores de água encontrados, seguindo-se a Equação 1 descrita por Corrêa et al. (2001):

$$TRA = [(Ma_0 - Ma_i) / Ms \cdot (t_i - t_0)] \quad (1)$$

TRA: taxa de redução de água, kg kg⁻¹ h⁻¹;

Ma₀: massa total de água anterior, kg;

Ma_i: massa total de água atual, kg;

Ms: matéria seca, kg;

t_0 : tempo total de secagem anterior, h;

t_i : tempo total de secagem atual, h.

- A densidade da massa de sementes, definida pela média de três repetições como a razão entre a massa e o volume de sementes contidos em cada recipiente, utiliza-se um volume conhecido de grãos e pesa-se a massa deste volume (Silva e Corrêa, 2008).

- A porosidade da massa de sementes de pimenta malagueta, determinada pela média de três repetições e aferindo-se o volume de cada recipiente, conforme método do deslocamento de líquidos, utilizando-se o óleo de soja disposto em bureta volumétrica graduada. Despeja-se um volume conhecido de tolueno ou algum outro fluido, como óleo de soja, a partir de um recipiente graduado contendo um certo volume de grãos. Com a diferença destes, estipula-se o espaço granular (Silva e Corrêa, 2008).

- Os eixos ortogonais das amostras representadas pela Figura 1, foram aferidos com auxílio de paquímetro digital as dimensões de comprimento, largura e espessura, correspondentes basicamente ao maior eixo (a), eixo intermediário (b) e menor eixo (c), utilizando-se vinte repetições para cada leitura. Com os dados dos eixos obtidos foram determinados a circularidade (Ci) e a esfericidade (Es) utilizando as Equações 2 e 3, conforme Mohsenin (1986).

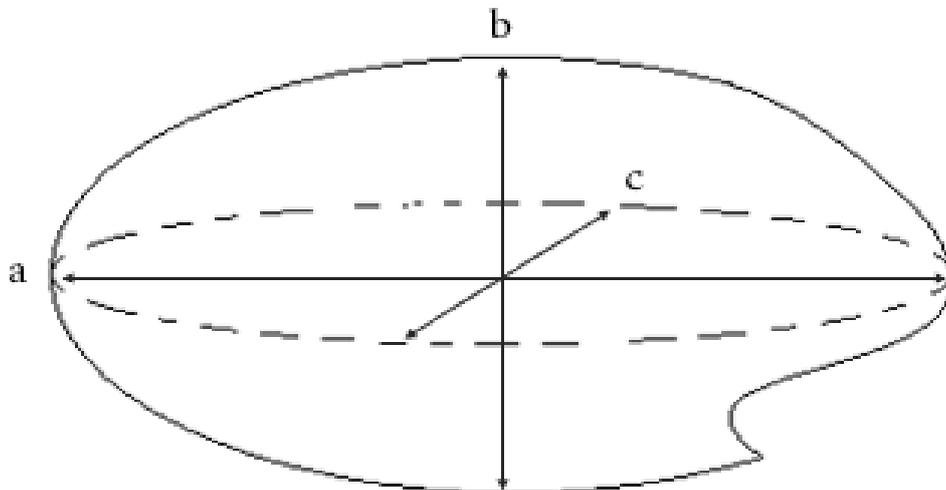


Figura 1. Ilustração esquemática da semente de pimenta malagueta e suas dimensões características, em que: maior eixo (a), eixo intermediário (b) e menor eixo (c). *Schematic illustration of the chilli pepper seed with and its characteristic dimensions, in which: biggest axis (a), intermediate axis (b) and smallest axis (c).*

$$\text{Circularidade} = \left(\frac{b}{a}\right) \cdot 100 \quad (2)$$

$$\text{Esfericidade} = \left[\frac{(a \cdot b \cdot c)^{1/3}}{a}\right] \cdot 100 \quad (3)$$

- O volume da massa de sementes, também foi obtido ao longo do processo de secagem, seguindo-se a Equação 4 proposta por Mohsenin (1986):

$$V_g = [(\pi. a. b. c)/6] \quad (4)$$

V_g : volume da semente, mm³;

a: maior eixo da semente, mm;

b: eixo intermediário da semente, mm;

c: menor eixo da semente, mm.

- O diâmetro geométrico da massa de sementes foi obtido ao longo do processo de secagem, conforme proposto na Equação 5 por Mohsenin (1986):

$$D_g = (a. b. c)^{1/3} \quad (5)$$

D_g : diâmetro geométrico, mm.

a: maior eixo da semente, mm;

b: eixo intermediário da semente, mm;

c: menor eixo da semente, mm.

- O índice de contração volumétrica, determinou-se pela relação entre o volume obtido das amostras para cada teor de umidade e o volume inicial, conforme descrito na Equação 6:

$$\Psi = V/V_0 \quad (6)$$

Ψ : índice de contração volumétrica, decimal;

V: volume para cada teor de umidade, mm³;

V_0 : volume inicial, mm³.

Os dados experimentais da taxa de redução de água, de porosidade e dos eixos ortogonais, assim como volume da massa de sementes, diâmetro geométrico e índice de contração volumétrica foram submetidos à análise de regressão pelo teste t a 5% de probabilidade. Os valores de contração volumétrica obtidos do processo de secagem das sementes de pimenta malagueta também foram ajustados a modelos matemáticos empíricos conforme apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Modelos utilizados para simular o índice de contração volumétrica em produtos agrícolas.

Models used to simulate the volumetric contraction index in agricultural products.

Referência	Modelo	
Corrêa et al. (2004) – apud Corrêa et al. (2011)	$\Psi = 1/[a_1 + b \cdot \exp(X)]$	(7)
Exponencial – Exp.	$\Psi = a_1 \cdot \exp(b \cdot X)$	(8)
Linear – Lin.	$\Psi = a_1 + a_2 \cdot X$	(9)
Polinomial – Pol.	$\Psi = a_1 + a_2 \cdot X + a_3 \cdot X^3$	(10)
Bala e Woods Modificado (1984) – B. e W. Mod.	$\Psi = 1 - a_1 \{1 - \exp[-a_2(X_0 - X)]\}$	(11)

a_1, a_2, a_3 : parâmetros dependentes do produto; X : teor de água do produto, kgw kgdm⁻¹; X_0 : teor de umidade inicial do produto, kgw kgdm⁻¹. a_1, a_2, a_3 : product dependent parameters; X : product water content, kgw kgdm⁻¹; X_0 : initial moisture content of the product, kgw kgdm⁻¹.

Em seguida, os modelos matemáticos foram analisados por regressão não linear pelo método de Gauss-Newton utilizando o software Statistica. O critério estatístico para seleção do melhor modelo para recomendação da representação da contração volumétrica foi considerado a magnitude do coeficiente de determinação (R^2), o erro médio relativo (P), o erro médio estimado (SE) e o teste qui-quadrado (X^2) mais próximos a zero (Mohapatra e Rao, 2005). Os cálculos relacionados ao erro médio relativo, ao erro médio estimado e ao teste qui-quadrado estão de acordo com as Equações 12, 13 e 14:

$$P = [(100/n)\Sigma(|Y - \hat{Y}|/Y)] \quad (12)$$

$$SE = \sqrt{\Sigma(Y - \hat{Y})^2 / GLR} \quad (13)$$

$$x^2 = [\Sigma(Y - \hat{Y})^2 / GLR] \quad (14)$$

P: erro médio relativo, %;

n: número de observações experimentais;

\hat{Y} : o valor calculado pelo modelo;

Y: valor observado experimentalmente;

SE: erro médio estimado, decimal;

χ^2 : qui-quadrado.

GLR: graus de liberdade do modelo, o número de observações menos o número de parâmetros do modelo.

Resultados e discussão

O teor de água das sementes de pimenta malagueta foi reduzido de 54% até 10%, 9,7% e 9,4% sob uma temperatura de 30 °C em função do tempo de secagem. Nota-se uma ligeira estabilização a partir do tempo de cinco horas de secagem, no comportamento de perda de água das sementes para o ambiente, conforme apresentado na Figura 2a. Referente ao período de exposição das sementes às condições de secagem trabalhadas, até se alcançar o equilíbrio higroscópico, contribuíram para a redução da água livre e solvente, dificultando a proliferação de fungos (Jangam et al., 2010). Siqueira et al. (2012) afirmam que o período de secagem das sementes reduz com o aumento da temperatura, o que se explica pela diferença entre a pressão de vapor do ar de secagem e da semente acompanharem este aumento da temperatura, resultando na redução da água em menor tempo.

Durante o período de secagem também pode ser observada a taxa de redução de água (TRA), verificando-se na Figura 2b, que as maiores TRA das sementes de pimenta malagueta chegaram a 0,07; 0,075 e 0,083 kg kg⁻¹ h⁻¹ respectivamente. Estudo semelhante também foi abordado por Rodovalho et al. (2015), para sementes de pimenta bode, em que as maiores TRA foram de 0,063; 0,095 e 0,119 kg (kg h)⁻¹ para as temperaturas de 30, 35 e 40 °C. A TRA reduz, continuamente, até tornar-se estável, pois com a redução da água livre e solvente torna-se mais lento e mais difícil a migração da água do interior para a superfície do grão (Jangam et al., 2010).

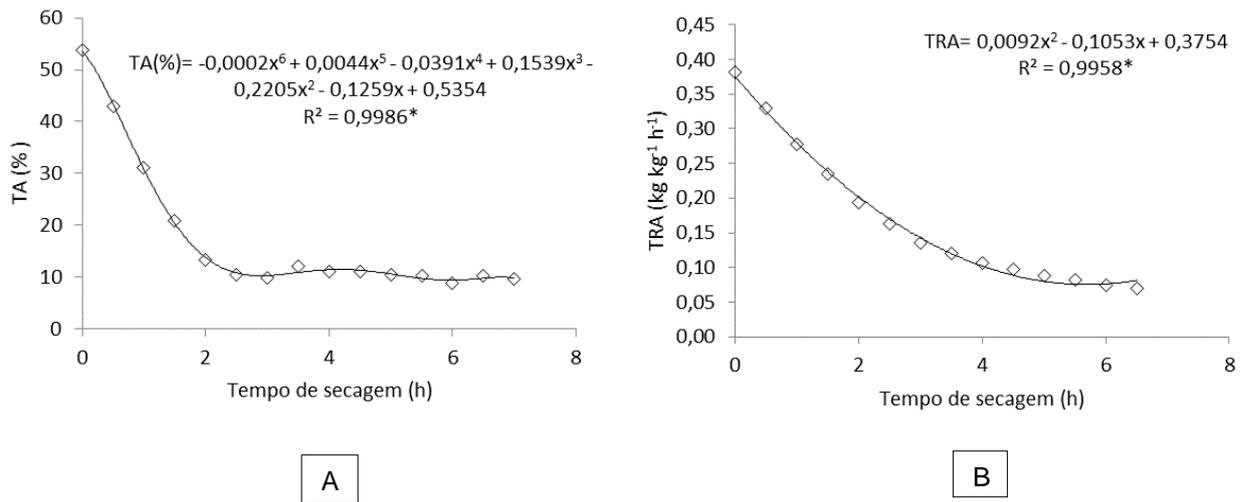


Figura 2. Dados experimentais da secagem à temperatura do ar de 30 °C (a); e taxa de remoção de água kg (kg^h)⁻¹ das sementes de pimenta malagueta submetidas ao processo de secagem (b). *Experimental drying data at an air temperature of 30 °C (a); and water removal rate (kg (kg^h)⁻¹) of Chili Pepper seeds submitted to the drying process (b).*

Na Figura 3 estão apresentados os valores de densidade para cada tempo de secagem. Verifica-se que a densidade diminui linearmente de 0,79 para 0,55 g/ml conforme o aumento no tempo de secagem na faixa entre 0 e 8 horas. Valor inicial menor ao encontrado por Tomé et al. (2018) para pimenta do reino de $1,135 \pm 0,54$ g/ml. A utilização prática deste conceito de densidade se dá na comercialização, dimensionamento de silos, secadores, depósitos e sistemas de transportes, utilizado também para determinação de teores de água e danos causados por insetos e pragas nos grãos armazenados (Silva e Corrêa, 2008).

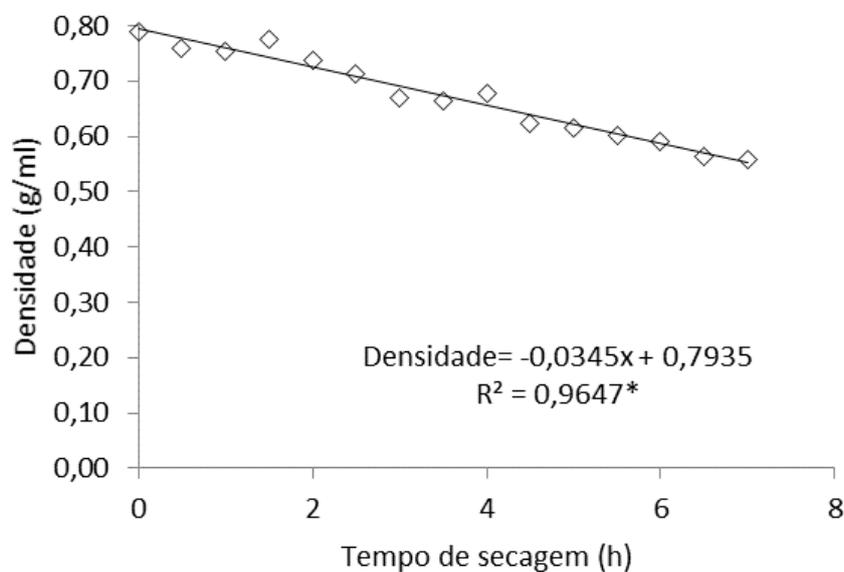


Figura 3. Valores de densidade calculados e estimados em função do tempo de secagem das sementes de pimenta malagueta. *Density values calculated and estimated as a function of the drying time of chili pepper seeds.*

Na Figura 4 é possível visualizar o comportamento da porosidade em relação ao teor de água, apresentando uma redução simultânea destas variáveis. A porosidade, passa de 59,4% com um teor de água de 53,7% para 44,7% a um teor de água de 9,6%. Esse fenômeno explica-se em razão da consequente redução no volume da massa de sementes devido a perda de água que ocorre no decorrer do processo de secagem, isto é, o aumento aparente da densidade das sementes de pimenta malagueta submetidas a secagem reduziu sua porosidade, assim, há uma menor porção de espaços vazios na massa de sementes. Encontrou-se valores de porosidade da pimenta-do-reino equivalente a 51,67%, sendo esta propriedade física definida como a porcentagem de espaços vazios existente na massa de sementes (Tomé et al., 2018). A porosidade exerce grande influência sobre a pressão de um fluxo de ar que traspasa a massa de sementes, é a relação existente entre o volume ocupado pelo ar na massa de sementes e o volume total ocupado por essa massa (Silva e Corrêa, 2008).

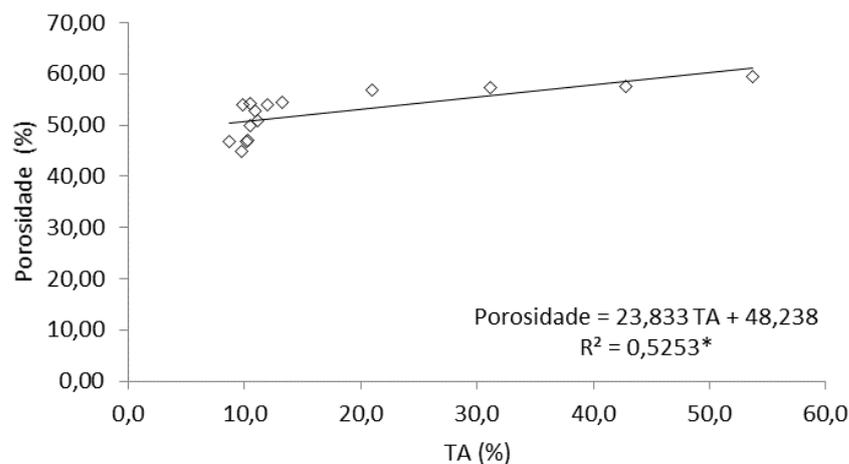


Figura 4. Valores da porosidade calculados em função do teor de água das sementes de pimenta malagueta. *Porosity values calculated according to the water content of chili pepper seeds.*

Na Figura 5 constata-se que as três dimensões das sementes de pimenta malagueta reduziram proporcionalmente, apresentando assim significância com o aumento do tempo de secagem. O que corrobora com o comportamento observado por Corrêa et al. (2006) trabalhando-se com a cultura do trigo. Tais dados são utilizados para o dimensionamento do tamanho e da forma dos furos das peneiras em equipamentos destinados à separação e classificação, sendo o tamanho e a forma características específicas de cada produto (Silva e Corrêa, 2008).

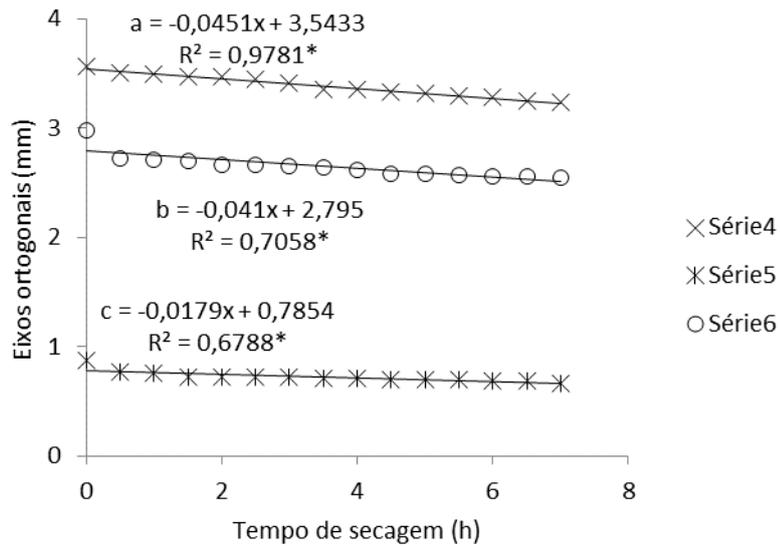


Figura 5. Dimensões dos eixos ortogonais (a, b e c) das sementes de pimenta malagueta em função do tempo de secagem. *Dimensions of orthogonal axes (a, b and c) of chili pepper seeds as a function of drying time.*

Nota-se que a variação dos eixos ortogonais, representados na Figura 6, mesmo reduzindo numericamente de 84% a 78% para circularidade (Ci) e de 59% a 54% para esfericidade (Es), não apresentaram diferença significativa referente aos tempos de secagem trabalhados e temperatura de 30 °C. Alves (2015) encontrou valor de esfericidade para pimenta do reino de 97%, sendo este um fator que indica o quanto a forma de uma semente se aproxima de uma esfera e a circularidade um fator que indica o quanto a área da semente se aproxima de um círculo (Tomé et al., 2018). Este caso aponta que as sementes de pimenta malagueta utilizadas no trabalho encontravam-se desuniformes, está também se caracterizam pelo tegumento rígido, tornando-a menos susceptível ao redimensionamento.

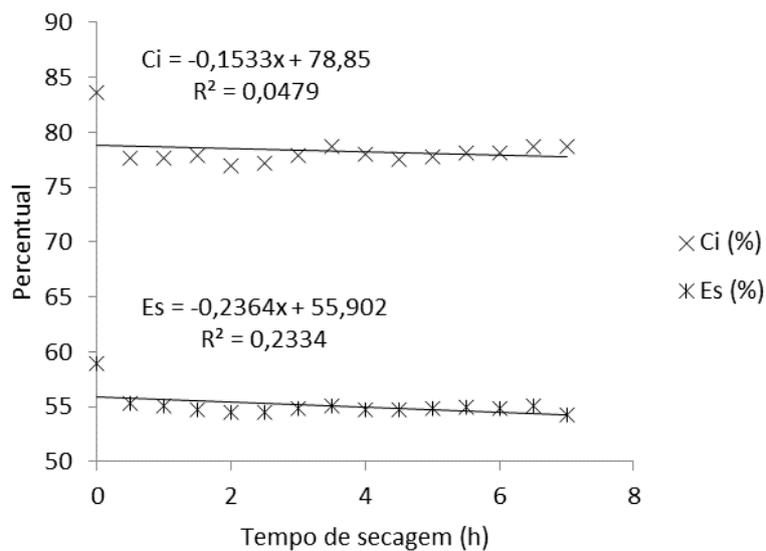


Figura 6. Dimensões dos índices de circularidade (Ci) e esfericidade (Es) das sementes de pimenta malagueta em função do tempo de secagem. *Dimensions of circularity (Ci) and sphericity (Es) indexes of chili pepper seeds as a function of drying time.*

Na Figura 7 estão apresentados os dados obtidos a partir da aferição dos eixos ortogonais das sementes de pimenta malagueta, observando-se uma redução considerável para ambas as variáveis. Com a secagem houve então reduções quanto ao volume das sementes (Vg) de 4,86mm para 2,85 mm; quanto ao diâmetro geométrico (Dg) que reduziu de 2,1 mm para 1,7 mm e referente ao índice de contração volumétrica (Ψ), reduzindo de 1,0 para 0,58. Todos os valores dimensionais demonstraram parâmetros significativos ao teste t com coeficientes de determinação acima de 0,74. As condições de secagem de Siqueira et al. (2012) não promoveram alterações significativas na redução geométrica em sementes de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). Tal divergência entre as análises deste estudo com os resultados de Siqueira et al. (2012) pode estar relacionada à variabilidade de sementes e produtos agrícolas existentes, e também em relação ao manejo e técnicas adotados para se proceder com a secagem das sementes em estudo.

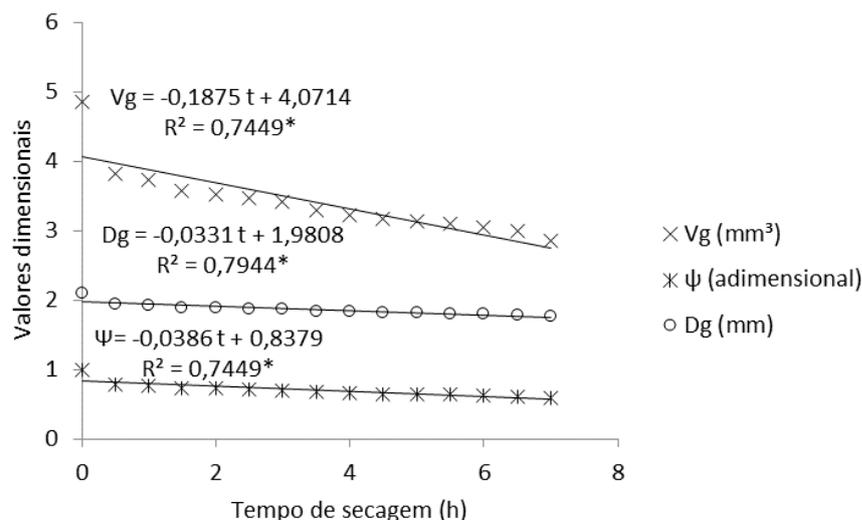


Figura 7. Dados experimentais da secagem à temperatura do ar de 30 °C, para distribuição dos valores dimensionais do volume das sementes (Vg), diâmetro geométrico (Dg) e índice de contração volumétrica (Ψ). *Experimental data of drying at 30 °C air temperature, for distribution of dimensional values of seed volume (Vg), geometric diameter (Dg) and volumetric contraction index (Ψ).*

Na Tabela 2 estão apresentados os critérios estatísticos de ajuste dos valores de contração volumétrica aos modelos matemáticos. Verifica-se que o modelo Linear apresentou os melhores critérios de ajuste com coeficiente de determinação (R^2) a 0,71, e obteve valores comprobatórios mais próximos a zero quando comparados aos demais modelos tanto para os erros médios relativo (P) e estimado (SE) quanto para o valor de qui-quadrado (X^2), parâmetros significativos a 5% de probabilidade. Bala e Woods Modificado

obtiveram elevado R^2 , porém resultado não significativo ao parâmetro de segunda ordem. Dentre estes, o modelo de Corrêa e o modelo Exponencial apresentaram números mais elevados de P, SE e X^2 . Os menores valores para P e SE são expressos pelo modelo Polinomial que em consequente aponta um R^2 bem distante da magnitude. De acordo com os modelos analisados, o erro médio estimado (SE), que descreve o valor do desvio padrão para a estimativa, apresentou pouca variação.

Siqueira et al. (2012), também trabalhando com o fenômeno de contração volumétrica em sementes de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), obteve o modelo Polinomial com condições mais adequadas de secagem e distribuição residual aleatória. Nos estudos decorrentes de produtos agrícolas observa-se que o modelo Linear se ajusta satisfatoriamente aos dados experimentais de contração volumétrica, para apresentação dos resultados estimados de contração volumétrica da massa de grãos de soja, optou-se por este modelo devido a sua simplicidade e por apresentar coeficiente de determinação de 0,99 (Ribeiro et al., 2005).

Tabela 2 - Modelos de contração volumétrica das amostras de sementes de pimenta malagueta com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), erros médios relativo (P) e estimado (SE), teste qui-quadrado (X^2) e parâmetros dependentes dos produtos (a1), (a2), (a3). *Volumetric contraction models of Chili Pepper seed samples with their respective determination coefficients (R^2), relative (P) and estimated (SE) mean errors, and chi-square test (X^2) and product-dependent parameters (a1), (a2), (a3).*

Modelo	R^2	a1	a2	a3	P	SE	X^2
Corrêa	0,63	4,02*	-1,79*	-	39,41	1,98	3,92
Exponencial	0,68	0,40*	1,76*	-	36,35	1,83	3,36
Linear	0,71	0,34*	1,25*	-	33,80	1,74	3,03
Polinomial	0,29	0,20 ^{ns}	2,72 ^{ns}	-2,53 ^{ns}	29,62	1,64	2,69
Bala e Woods Modificado	0,71	738,02*	0,00 ^{ns}	-	33,88	1,74	3,03

* Significativo e ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. * *Significant and ^{ns} not significant at 5% probability by t test.*

Conclusões

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que nas condições estudadas o processo de secagem afeta as propriedades físicas de sementes de pimenta malagueta. A taxa de redução de água reduz gradativamente juntamente com a água da semente, entrando em equilíbrio com a temperatura do ar que a envolve. A densidade demonstra que a massa e o volume das sementes dessa cultura reduzem no processo de secagem. Assim como a porosidade, que reduz com a redução de seu teor de água.

A semente de pimenta malagueta apresenta tamanho e forma característicos e seus eixos ortogonais, ainda assim contribuem para os valores dimensionais de volume e diâmetro geométricos no processo de secagem.

O modelo Linear foi o mais indicado para representar a contração volumétrica das sementes de pimenta malagueta.

Referências

- Abud HF, Araujo EF, Araujo RF, Araujo AV, Pinto CMF (2013) Qualidade fisiológica de sementes das pimentas malagueta e biquinho durante a ontogênese. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.48, p.1546-1554.
- Aldana IJG, Sauri MHML, Castro CLA, Cuevas LF, Vásques FA (2015) Nitrate promotes capsaicin accumulation in *Capsicum chinense* immobilized placentas. *BioMed Research International*. p. 101-106.
- Alves DAS (2015) Secagem de Pimenta-do-Reino Preta (*Piper nigrum* L.) em Secador de Leito Fixo. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos. 91p.
- Bewley JD, Bradford KJ, Hilhorst HWM, Nonogaki H (2013) *Seeds: physiology of development, germination and dormancy*, 3 ed. New York: Springer. 392p.
- Brasil (2009) Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Regras para análise de sementes / Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Brasília, MAPA/ACS. 399p.
- Caixeta F, Von Pinho ÉVR, Guimarães RM, Pereira PHAR, Catão HCRM (2014) Physiological and biochemical alterations during germination and storage of habanero pepper seeds. *African Journal of Agricultural Research*, v.9, p.627-635.
- Carvalho NM, Nakagawa J (2012) *Sementes: ciência, tecnologia e produção*. Jaboticabal: Funep. 590p.
- Corrêa PC, Machado PF, Andrade ET (2001) Cinética de secagem e qualidade de grãos de milho-pipoca. *Ciência e Agrotecnologia*, 25(1):134-142.
- Corrêa PC, Ribeiro DM, Resende O, Botelho FM (2006) Determinação e modelagem das propriedades físicas e da contração volumétrica do trigo, durante a secagem. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10(3), Campina Grande.
- Dagnoko S, Diarisso NY, Sanago PN, Adetula O, Nantoumé AD, Touré KG, BA DD (2013) Overview of pepper (*Capsicum* spp.) breeding in West Africa. *African Journal of Agricultural Research*, v.8, p.1108-1114.
- Jangam SV, Law CL, Mujumdar (2010) *Drying of foods, vegetables and fruits*. Singapore: National University of Singapore, 1. ed., 232p.
- Melo AMT, Nascimento WM, Freitas RA (2014) Produção de sementes de pimenta. In: Nascimento WM. *Produção de sementes de hortaliças*, Embrapa, v.2, Brasília. p.169-197.
- Mohapatra D, Rao PS (2005) A thin layer drying model of parboiled wheat. *Journal of Food Engineering*, 66(4):513-518.
- Mohsenin NN (1986) *Propriedades físicas de materiais vegetais e animais*. Nova York: Gordon and Breach Publishers.
- Peske ST, Villela F (2003) Secagem de sementes. In: Peske ST, Rosenthal M, Rota GRM. *Sementes: Fundamentos científicos e tecnológicos*, Editora e Gráfica Universitária (UFPEL), Pelotas. p.283-322.
- Ramos IN, Brandão TRS, Silva CLM (2005) Integrated approach on solar drying, pilot convective drying and microstructural changes. *Journal of Food Engineering*, 67(1):195-203.
- Ratti C (1994) Shrinkage during drying of foodstuffs. *Journal of Food Engineering*, London, 23(1):1-105.
- Ravindran PN, et al. (2000) *Indian J. Arecanut Spices and Medicinal Plants*, v.2, p.71-78.

- Rebouças TNH, Valverde RMV, Teixeira HL (2013) Bromatologia da pimenta malagueta in natura e processada em conserva. *Horticultura Brasileira*, v.31, p.163-165.
- Ribeiro DM, Corrêa PC, Rodrigues DH, Goneli ALD (2005) Análise da variação das propriedades físicas dos grãos de soja durante o processo de secagem. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 25(3): 611-617.
- Ricci N, Pacheco AC, Conde AS, Custódio CC (2013) Qualidade de sementes de pimenta jalapenho em função da maturação e tempo de permanência nos frutos. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.43, p.123-129.
- Rodvalho RS, Silva HW, Silva IL, Rossetto CAV (2015) Cinética de secagem dos grãos de pimenta bode. *Global Science and Technology*, v.8, p.128-142.
- Segnou J, Akoa A, Youmbi E (2012) Viabilité et développement végétatif des plantules de piment (*Capsicum annum* L.) suivant différents matériels de conditionnement des semences. *Tropicicultura*, v.30, p.15-23.
- Silva JS, Corrêa PC (2008) Secagem e armazenagem de produtos agrícolas. *Aprenda Fácil*, Viçosa, cap.2, p.21-37.
- Siqueira VC, Resende O, Chaves TH (2012) Determination of the volumetric shrinkage in jatropha seeds during drying. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 34(3): 231-238.
- Sokhansanj S. Lang W (1996) Prediction of kernel and bulk volume of wheat and canola during adsorption and desorption. *Journal Agricultural Engineering Research*, New York, 63(2):129-136.
- Tomé TCH, Cavalcante HSA, Bonou SI, Silva ARP, Lins ADF (2018) Determinação das propriedades físicas da pimenta-do-reino. *Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia - CONTECC*, Maceió – AL.