

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – IF GOIANO - *Campus* RIO VERDE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS  
AGRÁRIAS

ESTUDO DA SECAGEM DO CRAMBE E AVALIAÇÃO DA  
QUALIDADE DAS SEMENTES DURANTE O  
ARMAZENAMENTO

Autora: LÍlian Moreira Costa  
Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Resende

RIO VERDE – GO

julho – 2011

# ESTUDO DA SECAGEM DO CRAMBE E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS SEMENTES DURANTE O ARMAZENAMENTO

Autora: LÍlian Moreira Costa  
Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Resende

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, ao Programa de Pós-Graduação *Stricto sensu* em Ciências Agrárias do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – *Campus* Rio Verde - Área de Concentração Ciências Agrárias

Rio Verde – GO  
julho – 2011

Ficha Catalográfica Preparada pela Seção de Catalogação e Classificação da  
Biblioteca Maria Carlinda - FESURV  
Gilmar José Terra CRB12524

C87e

Costa, LÍlian Moreira

Estudo da secagem do Crambe e a avaliação da qualidade das sementes durante o armazenamento./ LÍlian Moreira Costa. – Rio Verde-GO. – 2011.

88 f.: il.;

Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) apresentada ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – IF Goiano, *Campus* Rio Verde – 2011.

1. Crambe – secagem. 2. Crambe – sementes. 3. Crambe – armazenamento.

CDU 633.85

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**ESTUDO DA SECAGEM DO CRAMBE E AVALIAÇÃO  
DA QUALIDADE DAS SEMENTES DURANTE O  
ARMAZENAMENTO**

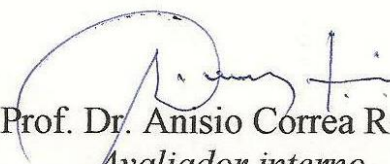
Autora: Lílian Moreira Costa  
Orientador: Dr. Osvaldo Resende

*TITULAÇÃO:* Mestre em Ciências Agrárias – Área de concentração  
Ciências Agrárias – Ciências Agrárias

APROVADA em 27 de julho de 2011.



Prof. Dr. Ivano Alessandro Devilla  
*Avaliador externo*  
UnB



Prof. Dr. Anísio Corrêa Rocha  
*Avaliador interno*  
IF Goiano – *Campus* Rio Verde



Prof. Dr. Osvaldo Resende  
*Presidente da banca*  
IF Goiano – *Campus* Rio Verde

## AGRADECIMENTOS

Ao meu Orientador Prof. Dr. Osvaldo Resende, pelos ensinamentos, paciência, confiança, amizade, pela dedicação à minha formação, acima de tudo pela compreensão, prontidão em atender às minhas solicitações e, especialmente, pelo grande auxílio na orientação e conclusão deste trabalho, enfim, obrigada simplesmente por ter acreditado e apostado em mim.

Ao Prof. Dr. Ivano Alessandro Devilla e Prof. Dr. Anísio Corrêa da Rocha, pelas correções e sugestões da dissertação e participação na comissão julgadora.

Ao coordenador do programa, Prof. Dr. Alan Carlos Costa, pelas contribuições aos estudos, e a todos os outros professores deste programa, pelo auxílio na minha formação profissional.

Ao pioneiro do laboratório de Pós-Colheita do IF Goiano, Dieimisson Paulo Almeida, pela grande parceria, por toda a ajuda que me foi dada e por fazer parte de um dia a dia tão agradável, um grande amigo.

Um agradecimento especial ao Udenys Cabral Mendes, pelo carinho, atenção e momentos de felicidades, tenho grande admiração pela pessoa que você é, além da enorme satisfação de conviver e trabalhar com você, para sempre será lembrado.

À mestranda Kelly Aparecida de Sousa, que, percorrendo o mesmo caminho, encontrando dificuldades com as quais dividimos experiências e grandes emoções, agradeço a amizade leal, carinho e palavras que me deu nas horas mais difíceis.

Aos que contribuíram com trocas sinceras de incentivo para o êxito deste trabalho, em especial Douglas Nascimento Gonçalves, acadêmico do curso de agronomia, por trabalhar na execução deste projeto, por toda ajuda que me foi dada e por proporcionar momentos de descontrações e boas risadas, obrigada pela “interação” científica.

Ao Anderson Dinis Rigo, Tarcísio Honório Caves, Renan Ullmann, Mariana Cabral do Prado, graduandos em agronomia e membros do laboratório de Pós-Colheitas, pela colaboração quando solicitados e por tornar os momentos de trabalho alegres e descontraídos.

A todos os colegas do mestrado, com carinho, Apolyana Lorryne Souza, Valdiney Cambuy Siqueira, Daniel Emanuel Cabral de Oliveira e Thaís Adriana de Souza Smaniotto, por termos compartilhado experiências e aprendizados durante essa trajetória, quanta coisa vivemos neste mestrado, foram muitas lamentações, mas resistimos bravamente.

Ao laboratório de Sementes do IF Goiano – *Campus* Rio Verde, que proporcionou condições para elaboração deste estudo, e à minha co-orientadora Juliana de Fátima Sales, pela atenção e disponibilidade quando solicitada para as discussões científicas.

Ao CNPq, pelo incentivo através de liberação de bolsa de estudo proporcionando melhores condições para minha formação.

À Capes, pelo apoio financeiro.

Ao IF Goiano – *Campus* Rio Verde, pela oportunidade de aperfeiçoamento.

Muito Obrigada!!!

## BIOGRAFIA DO AUTOR

LÍLIAN MOREIRA COSTA, filha de Sebastião Moreira Costa e Rosalina Moreira Costa, nascida em Rio Verde, Goiás, no dia 22 de julho. Em 2004, ingressou no curso de graduação pelo IF Goiano – *Campus* Rio Verde, em Tecnologia em Produção de Grãos, concluído em 2007. Em 2004, ingressou no projeto Educação de Jovens e Adultos (EJA) na Escola Municipal de Ensino Fundamental (EMEF) “Rosalina Borges”, no cargo de auxiliar administrativa efetiva no período noturno. Em agosto de 2009, iniciou no Programa de Pós-Graduação *Stricto sensu* em Ciências Agrárias, realizando a pesquisa para a dissertação de mestrado na área de Pós-Colheita em armazenamento e secagem de grãos. Concluiu em 27 de julho de 2011 com a defesa da dissertação “Estudo da secagem do crambe e avaliação da qualidade das sementes durante o armazenamento”.

À minha Mãe Rosalina Moreira Costa, uma mulher batalhadora, um grande exemplo de vida, caráter, dedicação, sabedoria e amor. Aos meus irmãos Tatianny Costa Silva, Geovane Moreira Costa e Ueliton Moreira Costa, por todo amor, solidariedade e por acreditarem e se orgulharem de mim.

### **Dedico**

Ao meu pai Sebastião Moreira Costa (*in memoriam*), exemplo de humildade, foi o meu verdadeiro herói, saudades.

### **Ofereço**



## ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE TABELAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIATURAS E UNIDADES.....	xii
RESUMO.....	xix
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
1 Produção de biodiesel.....	1
2 O crambe.....	3
3 Qualidade das sementes.....	5
4 Secagem.....	6
5 Modelagem matemática da secagem.....	8
6 Armazenamento.....	9
7 Referências Bibliográficas .....	11
OBJETIVO GERAL.....	15
CAPÍTULO 1.....	16
Resumo.....	16
Abstract.....	16
Introdução.....	17
Material e métodos.....	19
Resultados e discussão.....	21
Conclusões.....	26
Agradecimentos.....	26

Referências.....	26
CAPÍTULO 2. ....	30
Resumo.....	30
Abstract.....	31
Introdução.....	31
Material e métodos.....	33
Resultados e discussão.....	36
Conclusões.....	43
Agradecimentos.....	43
Literatura citada.....	43
CAPÍTULO 3. ....	47
Resumo.....	47
Abstract.....	48
Introdução.....	48
Material e métodos.....	51
Resultados e discussão.....	53
Conclusões.....	60
Agradecimentos.....	60
Referências.....	61
CONCLUSÃO GERAL.....	66

## ÍNDICE DE TABELAS

		Página
Capítulo 2	<b>Tabela 1.</b> Modelos matemáticos utilizados para prever o fenômeno de secagem de produtos agrícolas.....	34
	<b>Tabela 2.</b> Erro médio estimado (SE, decimal), erro médio relativo (P, %), coeficiente de determinação ( $R^2$ , %) e tendência de distribuição dos resíduos (A=aleatória; T=tendenciosa), durante a secagem do crambe nas diversas condições de temperatura.....	38
	<b>Tabela 3.</b> Coeficientes do modelo de Wang Singh ajustados para a secagem do crambe em diferentes condições de temperatura e umidade relativa do ar com as respectivas equações.....	39
Capítulo 3	<b>Tabela 1.</b> Resumo da análise de variância para teor e absorção de água, condutividade elétrica, porcentagem de germinação e índice de velocidade de germinação (IVG), durante o armazenamento dos frutos de crambe em diferentes ambientes por 12 meses.....	54
	<b>Tabela 2.</b> Teor de água (% b.u.) dos frutos de crambe submetidos ao armazenamento em condição ambiente, câmara refrigerada e câmara climatizada durante 12 meses.....	55
	<b>Tabela 3.</b> Absorção de água (decimal b.s) dos frutos de crambe armazenados em condição ambiente, câmara refrigerada e câmara climatizada por um período de um ano.....	56
	<b>Tabela 4.</b> Condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ ) dos frutos de crambe submetidos ao armazenamento em condição ambiente, câmara refrigerada e câmara climatizada durante 12 meses.....	57

---

Capítulo 3	<b>Tabela 5.</b> Germinação (%) das sementes de crambe armazenadas em condição ambiente, câmara refrigerada e câmara climatizada por um período de um ano.....	59
	<b>Tabela 6.</b> Índice de velocidade de germinação (IVG) das sementes de crambe submetidas ao armazenamento em diferentes condições durante 12 meses.....	60

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Introdução Geral	<b>Figura 1. a)</b> Planta de crambe: (1) parte inferior e superior da planta em fase de frutificação; (2) flor; (3) fruto; (4) corte longitudinal da parte superior do fruto; <b>b)</b> Frutos de crambe.....	3
Capítulo 1	<b>Figura 1.</b> Curvas de secagem dos frutos de <i>Crambe abyssinica</i> nas temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70 °C.....	21
	<b>Figura 2.</b> Porcentagem de germinação das sementes de <i>Crambe abyssinica</i> submetidas à secagem em temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70 °C.....	23
	<b>Figura 3.</b> Índice de Velocidade de Germinação (IVG) das sementes de <i>Crambe abyssinica</i> submetidas à secagem em temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70 °C.....	23
	<b>Figura 4.</b> Absorção de água dos frutos de <i>Crambe abyssinica</i> submetidas à secagem em temperaturas de 22, 30, 40, 50, 60 e 70 °C. ....	24
	<b>Figura 5.</b> Condutividade elétrica CE ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ) dos frutos de <i>Crambe abyssinica</i> submetidas à secagem em temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70 °C.....	25
Capítulo 2	<b>Figura 1.</b> Curvas de secagem dos frutos de <i>Crambe abyssinica</i> nas temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70 °C.....	37
	<b>Figura 2.</b> Valores da cinética de secagem das sementes de <i>Crambe abyssinica</i> , experimentais e estimados pelo modelo de Wang Singh para diversas condições de secagem.....	39
	<b>Figura 3.</b> Valores experimentais e estimados de razão de umidade obtidos pelo modelo de Wang Singh em função da temperatura de secagem do crambe.....	40
	<b>Figura 4.</b> Valores médios do coeficiente de difusão ( $\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ ) obtidos para a secagem do <i>Crambe abissynica</i> nas temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70°C.....	41
	<b>Figura 5.</b> Representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão, em função da temperatura do ar de secagem, obtido durante a secagem do <i>Crambe abissynica</i> .....	42
t u	<b>Figura 1.</b> Temperatura média ao longo do armazenamento em três	

---

condições distintas: condição ambiente ( $26\pm 3$ °C), câmara refrigerada ( $5\pm 1$ °C) e câmara climatizada ( $18\pm 1$ °C).....	53
<b>Figura 2.</b> Umidade relativa média ao longo do armazenamento em três condições distintas: condição ambiente ( $55\pm 12\%$ Umidade Relativa - UR), câmara refrigerada ( $79\pm 5\%$ UR) e câmara climatizada ( $53\pm 7\%$ UR).....	54

---

## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIATURAS E UNIDADES

$X^*$ .....	Teor de água do produto
$X_e^*$ .....	Teor de água de equilíbrio do produto
$X_i^*$ .....	Teor de água inicial do produto
%.....	Porcentagem
&.....	Ampersand (e comercial)
apud.....	Citado por
a, b, c, n.....	Coefficientes dos modelos
ANP.....	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
b.s.....	Base seca
b.u.....	Base úmida
Capes.....	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CE.....	Condutividade Elétrica
cm.....	Centímetro
CNPq.....	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CV.....	Coefficiente de Variação
D .....	Coefficiente de difusão efetivo
$D_o$ .....	Fator pré-exponencial
$E_a$ .....	Energia de ativação
Eq.....	Equação
et al.....	E outros, e colaboradores
FMS.....	Fundação Mato Grosso do Sul
g.....	Gramas
h.....	Horas

IVG.....	Índice de Velocidade de Germinação
k, k <sub>0</sub> , k <sub>1</sub> : .....	Constantes de secagem
kg.....	quilograma
kJ. mol.....	quilojoule por Mol
m.....	Metros
M <sub>e</sub> :.....	Massa depois da embebição
mL.....	Mililitro
mm.....	Milímetro
M <sub>s</sub> :.....	massa da matéria seca do produto
N .....	Número de observações experimentais
n ou n°.....	Número
°C.....	Graus Celsius
p.....	Página
P.....	Erro médio relativo
PNB.....	Programa Nacional de Biodiesel
Proálcool.....	Programa Nacional de Álcool
R .....	Raio de esfera equivalente
R <sup>2</sup> .....	Magnitude do coeficiente de determinação
RU .....	Razão de umidade do produto
s.....	Segundos
SE.....	Erro médio estimado
T .....	Tempo
T <sub>a</sub> .....	Temperatura absoluta
U* :.....	Teor de água do produto
UR.....	Umidade Relativa
v.....	Volume
V <sub>g</sub> .....	Volume do grão
Y .....	Valor observado experimentalmente
Ŷ .....	Valor estimado pelo modelo
μS.....	Micro siemens



## RESUMO

COSTA, L. M.; M.e, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Julho de 2011. Estudo da secagem do crambe e avaliação da qualidade das sementes durante o armazenamento. Orientador: Dr. Osvaldo Resende.

Com teor de óleo de aproximadamente 40%, o crambe vem surgindo como potencial matéria-prima para produção de biodiesel. Existe carência de informações a respeito das alterações que podem ocorrer nas características dos frutos do crambe durante o processo de pós-colheita. Dessa forma, torna-se relevante a execução de trabalhos referentes ao assunto, que possam gerar informações teóricas e práticas para a melhor conservação dos frutos. Neste trabalho, objetivou-se estudar o efeito da secagem em diferentes condições de ar sobre a qualidade fisiológica das sementes de *Crambe abyssinica*; ajustar modelos matemáticos ao processo de secagem dos frutos de crambe, em diversas condições de ar, bem como determinar o coeficiente de difusão efetivo; obter a energia de ativação para o processo; e verificar o efeito do tempo e das condições de armazenamento na qualidade das sementes do crambe. Frutos de crambe foram colhidos manualmente com teor de água de  $21,0 \pm 1,3$  (% b.u) e secos até o teor de  $7,0 \pm 1,4$  (% b.u.). O experimento foi montado com seis tratamentos (uma secagem natural e cinco condições artificiais), em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. A secagem artificial foi realizada após 7 dias da colheita dos frutos em secador experimental com ventilação forçada nas temperaturas controladas de 30, 40, 50, 60 e 70 °C e umidades relativas de 37,4; 22,3; 14,0; 8,3 e 5,1%, respectivamente. A qualidade das sementes foi avaliada pela porcentagem de germinação, índice de velocidade de germinação (IVG), absorção de água e condutividade elétrica. Para a modelagem matemática do processo de secagem, o equilíbrio higroscópico dos frutos de crambe foi obtido mantendo-se 10g de produto nas

mesmas condições de secagem até a massa permanecer constante. Para o ajuste dos modelos, foram realizadas análises de regressão não linear, pelo método Gauss-Newton, utilizando-se um programa estatístico, o erro médio estimado (SE), a magnitude do erro médio relativo (P), a magnitude do coeficiente de determinação -  $R^2$  e a verificação do comportamento da distribuição dos resíduos. Para o armazenamento, foi feita a colheita manual dos frutos de crambe, com teor de água de 6 (% b.u.). Os frutos foram acondicionados em potes de vidro cobertos com tecido voal no dia 11 de agosto de 2009 ao dia 11 de agosto de 2010, tendo 400g dos frutos em cada recipiente, em três condições distintas: condição ambiente ( $26\pm 3$  °C;  $55\pm 12\%$  Umidade Relativa - UR), câmara refrigerada do tipo B.O.D. ( $5\pm 1$  °C;  $79\pm 5\%$  UR) e câmara climatizada com aparelho de ar condicionado ( $18\pm 1$  °C;  $53\pm 7\%$  UR). Durante o armazenamento, a UR e a temperatura de todos os ambientes foram registradas por um datalogger digital. As amostras foram avaliadas aos 0, 2, 4, 6, 8, 10 e 12 meses quanto à absorção de água, testes de condutividade elétrica, porcentagem de germinação e IVG. Conclui-se que: a) Com o aumento da temperatura, o tempo de secagem foi reduzido e a qualidade dos frutos foi influenciada negativamente. Para a temperatura de 30 °C, o IVG e a porcentagem de germinação foram superiores às demais temperaturas avaliadas. O teor de água dos frutos de crambe depois da absorção de água foi mais elevado para as temperaturas de secagem de 23, 40 e 70 °C. A secagem em temperaturas elevadas não influenciou a condutividade elétrica; b) Entre os modelos que apresentaram melhor ajuste aos dados experimentais, o modelo de Wang e Singh foi o que melhor se ajustou aos dados nas diferentes condições de secagem. O coeficiente de difusão efetivo aumentou com a elevação da temperatura, apresentando valores de  $0,88\times 10^{-11}$ ;  $1,99\times 10^{-11}$ ;  $2,90\times 10^{-11}$ ;  $3,48\times 10^{-11}$ ;  $5,85\times 10^{-11}$   $m^2 s^{-1}$  para as temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70 °C, respectivamente, durante a secagem do crambe. A relação entre o coeficiente de difusão efetivo e a temperatura de secagem pode ser descrita pela equação de Arrhenius, que apresenta uma energia de ativação para a difusão líquida na secagem de 37,07  $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ; c) A câmara climatizada ( $18\pm 1$  °C;  $53\pm 7\%$  UR) conserva melhor a qualidade dos frutos de crambe em relação à condição ambiente ( $26\pm 3$  °C;  $55\pm 12\%$  UR) e à câmara refrigerada do tipo B.O.D. ( $5\pm 1$  °C;  $79\pm 5\%$  UR). O armazenamento dos frutos por doze meses nos três ambientes analisados promove a quebra de dormência das sementes.

Palavras-chave: Qualidade pós-colheita, movimentação de água, oleaginosa.

## ABSTRACT

COSTA, L. M.; M.e, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, July, 2011. Study of drying crambe and assessment of seed quality during storage. Guide: Dr. Osvaldo Resende.

With oil content of approximately 40%, crambe has emerged as a potential feedstock for biodiesel production. There is lack of informations about the changes that may occur in characteristics of crambe fruits during the post-harvest. Thus, researches on the subject become relevant, which can generate theoretical informations and practices for better preservation of fruits. This work aimed to study the drying effect under different air conditions on the physiological quality of *Crambe abyssinica* seeds, to adjust mathematical models for drying process of crambe fruits under various air conditions and to determine the coefficient of effective diffusion, to obtain the activation energy for the process, and verify the effect of time and storage conditions on quality of crambe seeds. Crambe fruits were collected manually with water content of  $21.0 \pm 1.3$  (% wb) and dry until the level of  $7.0 \pm 1.4$  (% wb). The experiment was installed with six treatments (one natural drying and five artificial conditions) in a completely randomized design with four replications. Artificial drying was performed after seven days of fruit harvest in an experimental dryer with forced ventilation at controlled temperatures of 30, 40, 50, 60, and 70°C and relative humidities of 37.4, 22.3, 14.0, 8.3, and 5.1% respectively. Seeds quality was evaluated by germination percentage, germination speed index (GSI), water absorption, and electrical conductivity. For the mathematical modeling of the drying process, the moisture content equilibrium of crambe fruits was obtained by holding 10g of product in the same drying conditions until the mass remains constant. To adjust the models, non-linear regression analyses were made, by

Gauss-Newton method, using a statistical program, the estimated average error (SE), the magnitude of the mean relative error (P), the magnitude of the determination coefficient -  $R^2$ , and the behavior verification of residuals distribution. For storage, the harvesting of crambe fruits was made manually with water content of 6 (% wb). The fruits were packed in glass jars covered with voile on August 11, 2009 to August 11, 2010, with 400g of fruit in each container under three different conditions, environmental conditions ( $26\pm 3^\circ\text{C}$ ,  $55\pm 12\%$  Relative Humidity - RH), refrigerated chamber BOD type ( $5\pm 1^\circ\text{C}$ ,  $79\pm 5\%$  RH), and climatic chamber with air conditioning ( $18\pm 1^\circ\text{C}$ ,  $53\pm 7\%$  RH). During storage, temperature and relative humidity from all environments were recorded by a digital data logger. The samples were evaluated at 0, 2, 4, 6, 8, 10, and 12 months on the water absorption, electrical conductivity, germination percentage, and GSI (germination speed index). We conclude that: a) With increasing temperature, the drying time was reduced and fruit quality was influenced negatively. For  $30^\circ\text{C}$  temperature, GSI and germination percentage were higher than other evaluated temperatures. The water content of crambe fruits after water absorption was higher for drying temperatures of 23, 40, and  $70^\circ\text{C}$ . Drying at elevated temperatures did not influence the electrical conductivity; b) Among the models that presented the best fit to the experimental data, Wang and Singh model was the one that best fit to the data under different drying conditions. The effective diffusion coefficient increased with increasing temperature, with values of  $0.88 \times 10^{-11}$ ,  $1.99 \times 10^{-11}$ ,  $2.90 \times 10^{-11}$ ,  $3.48 \times 10^{-11}$ , and  $5.85 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  for temperatures of 30, 40, 50, 60, and  $70^\circ\text{C}$ , respectively, during the crambe drying. The relationship between the effective diffusion coefficient and the drying temperature can be described by Arrhenius' equation, which has an activation energy for liquid diffusion in the drying of  $37.07 \text{ kJ mol}^{-1}$ ; c) The climatic chamber ( $18\pm 1^\circ\text{C}$ ,  $53\pm 7\%$  RH) retains better the crambe fruit quality in relation to environmental conditions ( $26\pm 3^\circ\text{C}$ ,  $55\pm 12\%$  RH) and refrigerated chamber of BOD type ( $5\pm 1^\circ\text{C}$ ,  $79\pm 5\%$  RH); The Fruits storage for twelve months in the three examined environments promotes the breaking of seed dormancy.

**Keywords:** Postharvest quality, water movement, oilseed.

## INTRODUÇÃO GERAL

### 1. Produção de biodiesel

O uso de óleo vegetal no motor diesel não é uma novidade. As primeiras experiências com motores de combustão por compressão foram conduzidas com óleo de amendoim. Em 1900, o inventor do motor diesel, Rudolf Diesel, conduziu um protótipo de motor na Exposição Universal de Paris com uso do óleo de amendoim. Mas o desenvolvimento dos derivados de petróleo e a ampla oferta de combustíveis de origem fóssil tornaram essa alternativa desinteressante do ponto de vista econômico. Em 1937, um cientista belga descobriu e patenteou o processo de transesterificação, que diminuía a viscosidade do óleo vegetal e melhorava seu processo de combustão no interior do motor (KNOTHE, 2001). Assim, o nome “biodiesel” foi dado ao óleo vegetal transesterificado para descrever seu uso como combustível em motores do ciclo diesel (CERBIO, 2009).

O mercado do biodiesel vem crescendo consideravelmente nos últimos anos em função das preocupações de vários países com o meio ambiente e da intenção de reduzir a dependência do petróleo importado. Nos últimos anos, vários países lançaram programas de incentivo à produção e ao consumo do biocombustível (MELLO et al., 2007).

O biodiesel tem se revelado uma alternativa real de substituição do óleo de diesel fóssil. No Brasil, a proposta de substituição de combustível de origem fóssil por combustíveis obtidos a partir de biomassa existe desde 1920. Mas foi a crise do petróleo na década de 70 que motivou o governo federal a criar o Programa Nacional do Álcool – Proálcool, que tornou realidade a substituição da gasolina pelo álcool combustível. Os testes realizados com diferentes proporções de mistura de biodiesel no diesel

combustível mostraram resultados técnicos viáveis. Mas dois fatores paralisaram o avanço do uso comercial do biodiesel no Brasil e no mundo: a redução do preço do petróleo e o elevado custo de produção em relação ao diesel. No entanto, atualmente, problemas ligados à disponibilidade do petróleo com preços acessíveis e aos seus impactos no meio ambiente reavivaram essa discussão em todo o mundo (OSAKI & BATALHA, 2008).

Expedito (2003) define biodiesel como um combustível renovável, biodegradável e ambientalmente correto. Sua constituição é uma mistura de ésteres etílicos ou metílicos de ácidos graxos, obtidos pela transesterificação de quaisquer triglicerídeos com álcool de cadeia curta, metanol ou etanol. O tipo de óleo para produção do biodiesel pode ser obtido de vegetais, gorduras animais e resíduos industriais e domésticos. Na área vegetal, as principais fontes de óleo são: soja, girassol, amendoim, colza, canola, palma (dendê), algodão e mamona. Na área animal, o sebo de boi, a gordura de frango e os suínos são as principais fontes de óleo para produção do biodiesel.

Estando os óleos vegetais entre as principais fontes de matéria-prima para a produção de biodiesel, justifica-se a condução de análises relacionadas aos aspectos econômicos e sociais do Programa Nacional de Biodiesel (PNB) à luz da capacidade de esmagamento de oleaginosas no Brasil. O aumento na produção de biodiesel no país levanta questões sobre a disponibilidade de matéria-prima para atender o programa nacional do Biodiesel (OSAKI & BATALHA, 2008).

Embora o País possua grande diversidade de insumos agrícolas para a produção de óleos vegetais e, conseqüentemente, de biodiesel, muitas culturas ainda têm caráter extrativista, não havendo plantios comerciais que permitam avaliar suas reais potencialidades. Diante deste aspecto, o crambe (*Crambe abyssinica*) vem se destacando na região Centro-Oeste como uma opção para a extração de óleo.

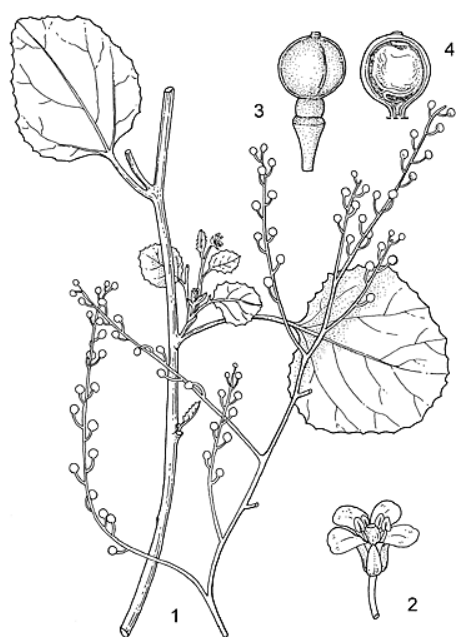
Sendo uma cultura que se destaca pelo elevado teor de óleo de suas sementes, atualmente, vem sendo estudada no Brasil visando à produção de biodiesel. Apresenta como vantagens o cultivo totalmente mecanizado, utilizando os mesmos equipamentos já existentes para grãos miúdos, e a possibilidade de cultivo principalmente no outono/inverno. Por ser uma cultura pouco conhecida comercialmente, praticamente não se dispõe, ainda, de informações técnicas que viabilizem seu cultivo intensivo. Assim, com o início da produção comercial de suas sementes no país, surgiu a necessidade de pesquisas na área de tecnologia e produção (OLIVA, 2010).

## 2. O crambe

O crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) é um membro da família *Brassicaceae*, tribo Brassicaceae, próximo à canola e mostarda. O gênero *Crambe* contém cerca de trinta espécies, a maioria ervas perenes, embora algumas sejam arbustos ou anuais, distribuídas principalmente na região do Mediterrâneo, Euro-Sibéria e na região Turco-Iraniana. O único membro cultivado é o *Crambe abyssinica*, também conhecido como *Abyssinian kale* (DESAI, 2004).

É uma planta herbácea anual, com aproximadamente um metro de altura, cuja haste se ramifica próxima ao solo para formar trinta ou mais galhos, que novamente se ramificam, formando galhos terciários (DESAI et al., 1997).

As folhas são ovais e assimétricas (Figura 1). A lâmina foliar possui aproximadamente 10 cm de comprimento e 7,6 cm de largura, com superfície lisa. O pecíolo possui aproximadamente 20 cm de comprimento, sendo pubescente (OPLINGER et al, 2000).



(a) -Fonte: [www.prota.org](http://www.prota.org)

(b) -Fonte: <http://www.ruralsementes.com.br/crambe.asp>

**Figura 1.** **a)** Planta de crambe: (1) parte inferior e superior da planta em fase de frutificação; (2) flor; (3) fruto; (4) corte longitudinal da parte superior do fruto; **b)** Frutos de crambe.

As flores amarelas ou brancas, localizadas nos longos racemos, produzem um grande número de sementes pequenas, com teor de óleo de aproximadamente 40%. O fruto é uma síliqua, inicialmente verde, mas que se torna amarelo com a maturidade. Cada fruto contém uma única semente esférica, de cor verde ou marrom esverdeado. O tamanho da semente varia consideravelmente no diâmetro (0,8 a 2,6 mm), sendo influenciado pelo número de sementes por planta, fertilidade do solo e chuva (DESAI et al., 1997).

Na década de 90, houve grande esforço de instituições norte americanas para buscar culturas alternativas não-alimentícias voltadas para a produção de óleo, tendo sido desenvolvidas pesquisas e parcerias com produtores, agroindústrias e cientistas para a introdução da cultura do crambe (CRAMBE, 2008). No mesmo período, foram introduzidos no Brasil materiais vindos do México, os quais foram selecionados por pesquisadores da Fundação Mato Grosso do Sul, originando a primeira cultivar de crambe (FMS Brilhante) no país, produtiva e adaptada às condições brasileiras (PITOL et al., 2010).

Por enquanto, o crambe ainda está em desenvolvimento como cultura agrícola e não é amplamente cultivado. Apesar das inúmeras tentativas, desde a década de 1950, em desenvolver a produção comercial de óleo com alto teor de ácido erúxico proveniente do crambe, esta espécie ainda não se tornou uma cultura agrícola estabelecida (MEIJER et al., 1999). Os frutos de crambe são constituídos por até 57% de ácido erúxico, um ácido graxo de cadeia longa que tem alto valor industrial. Devido à presença do ácido erúxico, que causa problemas na saúde humana (CARLSON et al., 2006), o óleo de crambe não é adequado para alimentação.

No Brasil, estudos relacionados à cultura e à produção de óleo do crambe foram iniciados recentemente, quando os produtores e pesquisadores nacionais passaram a ter acesso à cultivar FMS Brilhante, comercializada pela Fundação Mato Grosso do Sul. Com o objetivo de avaliar o potencial de produção do crambe e as características físico-químicas do óleo e do biodiesel obtidas desses grãos, Jasper (2009) concluiu, após análise, que o biodiesel do *Crambe abyssinica* Hochst está de acordo com as normas estabelecidas na Resolução nº 7 da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).



### 3. Qualidade das sementes

Desde a maturidade fisiológica até o momento de sua utilização na semeadura, as sementes estão sujeitas à perda da qualidade fisiológica pelas mudanças bioquímicas e fisiológicas que ocorrem. A deterioração, em muitos casos imperceptível na fase inicial, manifesta-se no decorrer do tempo, ocasionando reflexos negativos no vigor (GARCIA et al., 2004).

Essa perda de viabilidade é decorrente do processo de deterioração, que tem início logo após a maturidade fisiológica, mas somente influencia a viabilidade quando o processo progride para um estágio avançado, porque pequenos danos são reversíveis e possíveis de serem reparados pelas sementes (SCHMIDT, 2000). A qualidade das sementes é determinada por fatores genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários, e o conhecimento sobre sua formação e fisiologia é de fundamental importância (TOLEDO & MARCOS FILHO, 1977). Na maioria das culturas propagadas por sementes, a época de colheita não coincide com a época mais adequada para a semeadura, por isso, a importância do armazenamento das sementes (TOLEDO & MARCOS FILHO, 1977).

A sobrevivência da semente no armazenamento depende mais do teor de água do que de qualquer outro fator fisiológico. Esta dependência pode ser atribuída ao fato de as reações fisiológicas aumentarem quantitativamente quando o teor de água aumenta. A identificação do teor de água ótimo da semente para o armazenamento aumenta a capacidade do mesmo e reduz a contaminação por fungos de armazenamento. A atividade metabólica e os danos promovidos por insetos e microrganismos são influenciados pelo teor de água na semente. Reações deteriorativas acontecem em altos teores de água e podem ser reduzidas com baixos níveis de água. Entretanto, estudos mostraram que algumas reações importantes ocorrem mais prontamente no estado seco do que em um estado úmido, e a natureza destas reações varia com o teor de água (MARCOS FILHO, 2008).

Assim, a germinação inicial, o teor de água das sementes e a temperatura do armazém são os três fatores que influenciam a longevidade das sementes preservadas em bancos de germoplasma (CHIN, 1994).

De acordo com Carvalho e Nakagawa (2000), as sementes que apresentam menor potencial de armazenamento são as colhidas após o ponto de maturidade fisiológica, por já terem iniciado o processo de deterioração. Condições ambientais

adversas e um menor potencial de armazenamento resultarão no envelhecimento das sementes e, como consequência, poderá haver maior deterioração, menor germinação e um aumento de plântulas anormais (BEWLEY & BLACK, 1994)

Diversos são os fatores que influenciam a qualidade das sementes ao longo do tempo, destacando-se o teor de umidade, as condições do ambiente de armazenamento, principalmente temperatura e umidade relativa do ar, e o tipo de acondicionamento utilizado, havendo ainda outros fatores como espécie, variedade e histórico do lote de sementes, que exercem influência sobre sua longevidade (CARVALHO & NAKAGAWA, 2000). A perda rápida de viabilidade em sementes pode ser atribuída à oxidação de compostos fenólicos, tais como cumarina, ácido clorogênico e seus derivados, que ocorrem nos tegumentos das sementes e podem inibir sua germinação e a de outras sementes próximas no solo (BEWLEY & BLACK, 1994).

A germinação é uma característica de difícil avaliação, uma vez que o fenômeno da dormência pode interferir acentuadamente nos resultados do teste de germinação (ALVES et al. 2005). Diferentes lotes de sementes podem apresentar comportamento variável em função das condições climáticas durante o período de condução dos experimentos em campo (LOPES et al., 2002).

As sementes de crambe devem ser armazenadas e comercializadas com o teor de água máximo de 10 (% b.u.) (KNIGHTS, 2002) e ser limpas ao máximo de 2% de impurezas (SPRINGDALE, 2005). Se as sementes forem colhidas com elevado teor de água, podem ser usados ar natural ou secagem artificial. Não é recomendado secar as sementes com ar sem aquecimento se o teor de água exceder 20 (% b.u.). Para manter a qualidade da semente, a temperatura máxima de secagem recomendada é 43 °C (KNIGHTS, 2002).

#### 4. Secagem

O processo de secagem visa à retirada parcial da água da semente, pela transferência simultânea de calor do ar para a semente e de massa, por meio do fluxo de vapor de água, da semente para o ar. É um processo dinâmico, em função da umidade relativa do ar (VILLELA & PERES, 2004). Na secagem, o ar é usado para transportar a umidade das sementes para fora do sistema. Ar forçado e quente serve para aquecer as sementes, fazendo com que a umidade interna migre para a superfície externa das

mesmas e seja evaporada da periferia, para assim diminuir a umidade da massa de sementes que está sendo secada (PESKE & VILLELA, 2003).

Na secagem artificial, ao mesmo tempo em que o ar fornece calor ao sistema, ele absorve água do produto na forma de vapor. As sementes, sendo higroscópicas, sofrem variações no seu teor de água de acordo com as condições do ambiente. Quando entram em contato com o ar, realizam trocas até que sua pressão de vapor e a temperatura tenham valores semelhantes, atingindo níveis de equilíbrio energético, hídrico e térmico. Entretanto, a temperatura do ar de secagem deve ser controlada, dentro de certos limites, evitando-se, assim, possíveis danos físico-químicos e biológicos às sementes (ELIAS, 2002).

Os métodos de secagem obtidos pela exposição das sementes, num secador, a um fluxo de ar aquecido, ou não, podem ser divididos, conforme o fluxo das sementes no secador, em estacionário e de fluxo contínuo (VILLELA & PERES, 2004). A secagem estacionária consiste basicamente no insuflamento de ar continuamente, na maioria das situações, através de um volume de sementes que permanece estático. A secagem processa-se em camadas, com a formação de zonas de secagem. A região, onde mais efetivamente se verifica o fornecimento de água das sementes para o ar, é denominada de frente de secagem (VILLELA & PERES, 2004).

Existe uma relação inversamente proporcional entre velocidade de secagem e umidade relativa do ar (CAVARIANI et al., 1999), e, segundo os pesquisadores, a utilização do ar de secagem com baixa umidade relativa pode provocar fissuras e trincas na cobertura protetora das sementes.

Estudos detalhados conduzidos durante os últimos anos contribuíram para a compreensão das diferentes respostas à secagem apresentadas por sementes recalcitrantes e ortodoxas. Membranas das organelas celulares, o citoesqueleto e o núcleo esquelético são essenciais para o perfeito funcionamento da célula, e danos a essas estruturas durante a secagem podem levar à perda de viabilidade (BERJAK & PAMMANTER, 2000).

A secagem lenta promove melhor tolerância à dessecação, presumivelmente devido ao tempo suficiente que é concedido para a indução e a operação dos mecanismos de proteção. Oliver & Bewley (1997) sugeriram que a secagem rápida impede os processos de recuperação, sendo necessário mais tempo para os reparos na reidratação. De acordo com Miranda et al. (1999), apesar das vantagens que apresenta, a secagem é uma operação potencialmente danosa à qualidade das sementes e depende do

correto manejo dos teores de água inicial e final das sementes, da temperatura, da umidade relativa, do fluxo de ar, da taxa de secagem e do período de exposição ao ar aquecido.

Há um consenso generalizado sobre o fato de a secagem incorreta ser a principal causa da deterioração de semente nessa série de processos (BAKKER-ARKEMA et al., 1985). Desse modo, se houver negligência na secagem da semente, o esforço despendido em estudos de melhoramento genético, fitotécnicos e zoneamento edafoclimático poderá ser comprometido. Sabe-se que o armazenamento de sementes por períodos prolongados e com teores de água elevados é praticamente inviável, pois nessas condições o metabolismo das sementes continua intenso. Portanto, além da secagem, outro fator importante na produção de mudas a partir de sementes é o seu armazenamento, segundo Bruckner & Picanço (2001).

## 5. Modelagem matemática da secagem

O processo de secagem visa a diminuir o teor de água das sementes para patamares considerados satisfatórios para uma armazenagem segura e eficiente. Para que este processo seja realizado de forma rápida, segura e econômica, é fundamental conhecer e monitorar os fenômenos físicos existentes durante este processo. Atualmente, pesquisas relacionadas ao estudo da cinética de secagem em camada delgada são realizadas com diversos produtos agrícolas, como sementes, grãos, frutos e em algumas espécies de plantas, com importância econômica. Observa-se, conforme o produto e as condições do processo de secagem, que diferentes modelos se ajustam a cada situação específica (MARTINAZZO et al., 2007).

De acordo com Queiroz et al. (1995), são dois os métodos comumente utilizados para analisar a secagem de produtos biológicos: o empírico e o teórico. O método empírico consiste em formar grupos físicos adimensionais que podem ser facilmente investigados por experimentos de laboratório e baseia-se nas condições externas, como temperatura, razão da mistura e velocidade do ar de secagem. Entretanto, apesar de poder descrever a curva de secagem para as condições do experimento, não fornece indicação sobre o transporte de energia e de água no interior dos produtos. Os modelos teóricos utilizam os fundamentos da matemática da difusão e da transferência de calor e massa e podem descrever de forma aceitável o perfil da

distribuição de água no interior de determinado produto agrícola desde que seja possível correlacionar sua forma à geometria de um sólido perfeito, além da exigência do estabelecimento de uma relação funcional entre o coeficiente de difusão, o teor de água e a temperatura. Nesse caso, há que se considerar que o valor médio da razão de umidade, quer seja determinado pela solução de uma série truncada ou por integração de um conjunto de pontos discretos distribuídos na matriz do produto, representa a taxa de secagem de um sólido isolado, qualquer que seja seu formato.

Embora diversas teorias tenham sido propostas e várias equações tenham sido elaboradas para prever a variação do teor de água durante a secagem de produtos agrícolas no período à taxa decrescente, é possível afirmar que apenas relações empíricas ou semiteóricas têm sido utilizadas nos projetos de secadores, pois elas representam com maior precisão o processo de secagem que qualquer das equações teóricas desenvolvidas posteriormente (BROOKER et al., 1992).

Modelos mais fundamentados teoricamente foram apresentados por Bakker-Arkema et al. (1978) e são amplamente aplicados na simulação de secagem de grãos e sementes. A equação de Henderson é uma das mais aplicadas à atividade de água, tendo sido desenvolvida por Henderson em 1952. Na literatura, diversos modelos matemáticos têm sido utilizados para descrever a cinética de secagem em camada delgada de produtos agrícolas e alimentares. Estes modelos são utilizados para se estimar o tempo de secagem de diferentes produtos e na geração das curvas de secagem (MIDILLI et al., 2002). As curvas de secagem em camada delgada variam com a espécie, variedade, condições ambientais, métodos de preparo pós-colheita, entre outros fatores. Nesse sentido, diversos modelos matemáticos têm sido utilizados para descrever o processo de secagem de produtos agrícolas (RESENDE et al., 2008).

## 6. Armazenamento

A maior parte dos grãos, depois de colhidos, apresenta características inadequadas ao armazenamento, em razão principalmente do alto teor de água na época da colheita, necessitando, portanto, de tratamentos pós-colheita para que, durante o armazenamento, a qualidade dos grãos seja preservada (BAILEY, 1992).

Conhecer o comportamento das sementes diante de diferentes condições de armazenamento (temperatura, umidade relativa do ar e embalagem utilizada) é

importante para o manejo da espécie durante este período (PIÑA-RODRIGUEZ & JESUS, 1992). O armazenamento em ambientes de baixa umidade relativa do ar, com baixas temperaturas, favorece a conservação das sementes ortodoxas por períodos maiores (CARVALHO & NAKAGAWA, 2000). Para obter uma previsão do potencial de armazenamento das sementes, é necessário definir quais testes de qualidade refletem melhor o histórico daquelas sementes, incluindo a formação da semente, a maturação, a colheita, o acondicionamento e a secagem (STUMPF et al., 1996).

Em sementes armazenadas sob condições adequadas, a velocidade do processo de deterioração pode ser diminuída, permitindo a conservação da sua viabilidade por período mais prolongado do que o obtido em condições naturais (FIGLIOLIA & PIÑA-RODRIGUES, 1995). A umidade relativa do ar e a temperatura do ambiente de armazenamento são os principais fatores que afetam a qualidade das sementes durante o armazenamento. Condições de elevada umidade relativa do ar podem proporcionar o reinício das atividades metabólicas do embrião, enquanto temperaturas elevadas ocasionam aumento da atividade respiratória e esgotamento das substâncias de reserva acumuladas (AGUIAR, 1995), assim como tais condições podem favorecer a ação de fungos e insetos, que aceleram a deterioração das sementes (CARVALHO e NAKAGAWA, 2000).

O armazenamento tem a função de reduzir as reações bioquímicas que provocam a perda da qualidade fisiológica e propiciar condições adequadas para o não desenvolvimento de fungos e insetos, que podem contribuir para a perda desta qualidade (VILLA et al., 1979). Condições ambientais adversas e um menor potencial de armazenamento resultarão no envelhecimento das sementes e, como consequência, poderá haver maior deterioração das sementes, menor germinação e um aumento de plântulas anormais (BEWLEY & BLACK, 1994). Diversos são os fatores que influenciam a qualidade das sementes ao longo do tempo, destacando-se o teor de água, as condições do ambiente de armazenamento, principalmente temperatura e umidade relativa do ar, e o tipo de acondicionamento utilizado, havendo ainda outros fatores, como espécie, variedade e histórico do lote de sementes, que exercem influência sobre a sua longevidade (CARVALHO & NAKAGAWA, 2000).

Segundo Maeda et al. (1999), para a maioria das espécies cultivadas, o período de viabilidade aumenta quando se diminui a temperatura. Em condições de temperatura ambiente, há variações frequentes, tornando, assim, difícil a viabilidade das sementes armazenadas neste meio. A perda rápida de viabilidade em sementes pode ser atribuída

à oxidação de compostos fenólicos, tais como cumarina, ácido clorogênico e seus derivados, que ocorrem nos tegumentos das sementes e podem inibir a sua germinação e a de outras sementes próximas no solo (BEWLEY & BLACK, 1994).

## 7. Referências Bibliográficas

- ALVES, E.U.; SADER, R.; BRUNO, R.L.A.; ALVES, A.U. Maturação fisiológica de sementes de sabiá. **Revista Brasileira de Sementes**, v.27, n.1, p.1-8, 2005.
- AGUIAR, I.B. Conservação de sementes. In: SILVA, A.; PIÑA-RODRIGUES, F.C. M.; FIGLIOLIA, M. B. (Coord.). **Manual técnico de sementes florestais**. São Paulo: Instituto Florestal, 1995. p. 33-44. (Série Registros, n. 14).
- BAILEY, J.E. Whole grain storage. In: SAUER, D.B. (Ed.). **Storage of cereal grains and their products**. Minnesota: American Association of Cereal Chemists, 1992. 615p.
- BAKKER-ARKEMA, F.W, BROOK, R.C.; LEREW, L.E. Cereal Grain Drying. In: POMERANZ, Y. (ed). **Advances in Cereal Science and Technology**, Volume II. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1985. p.1-90.
- BAKKER-ARKEMA, F.W., LEREW, L.E., BROOK, R.C., BROOKER, D.B. Energy and capacity performance evaluation of grain dryers. **St. Joseph**, Michigan, ASAE, (ASAE Paper, 78-3523), 1978. 13p.;
- BERJAK, P.; PAMMENTER, N. What ultrastructure has told us about recalcitrant seeds. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 12, p. 22-55, 2000. Edição Especial.
- BEWLEY, J.D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. 2.ed. New York: Plenum Press, 1994. 445p
- BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. Drying and storage of grains and oilseeds. New York: **Van Nostrand Reinhold**, 1992. 450p.
- BRUCKNER, C.H.; PICANÇO, M.C. **Maracujá**: tecnologia de produção, pós-colheita, agroindústria, mercado. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2001, 472p.
- CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes**: ciência, tecnologia e produção. 4.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588p.
- CARLSSON, A.S., STYMNE, S., DYER, J. (2006) Wax esters in crambe. Outputs from the EPOBIO project, CPL Press, Newbury, UK. Disponível em: <http://epobio.net/pdfs/0704OilCropsReport.pdf>. Acessado em 27 de junho de 2010.
- CARLSON, K.D. & VAN DYNE, D.L. 1992. Industrial uses for high erucic acid oils from crambe and rapeseed. Univ. Missouri, Columbia.

CAVARIANI, C.; SILVA, W.R.; MIRANDA, L.C.; NACAGAWA, J.; BELGIORNO, D.C. Secagem estacionária de sementes de milho com distribuição radial do fluxo do ar. II – Andamento físico. **Revista Brasileira de Sementes**, DF, v.21, n.1, p. 7-17, 1999.

CHIN, H.F. Seedbanks: conserving the past for the future. **Seed Science and Technology**, Zürich, v.22, n.2, p.385-400, 1994.

CERBIO - **Centro Nacional de Referência em Biomassa**. Disponível em : <http://cenbio.iee.usp.br/quemsomos.htm>. acessado em 17 de março de 2009.

CRAMBE (*Crambe abyssinica*). Disponível em: <http://safs.csl.gov.uk/docs/crambe.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2008.

DESAI, B.B. **Seeds handbook: biology, production processing and storage**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 2004. 787 p.

DESAI, B.B.; KOTECHA, P.M.; SALUNKHE, D.K. **Seeds handbook: biology, production processing and storage**. New York: Marcel Dekker, 1997. 627 p.

ELIAS, M.C. **Armazenamento e conservação de grãos em médias e pequenas escalas**. Pelotas, 2002. Pólo de Inovação Tecnológica em Alimentos da Região Sul. UFPEL-FAEM-DCTA, 2002. 218p.

EXPEDITO, J. de SÁ, **Biodiesel: Uma aventura tecnológica num país engraçado**, Rede Baiana de Biocombustíveis, Salvador -BA, 2003.

FIGLIOLIA, M.B.; PIÑA-RODRIGUES, F.C.M. **Manejo de sementes de espécies arbóreas**. São Paulo: Instituto Florestal, 1995. 59 p. (Série Registros, n. 15).

GARCIA, D.C.; BARROS, A.C.S.A.; PESKE, S.T.; MENEZES, N.L. Secagem de sementes. **Ciência Rural**, v. 34, n.2, p.603-608, 2004.

JASPER, S.P. **Cultura do crambe (*Crambe abyssinica* Hochst): avaliação energética, de custo de produção e produtividade em sistema de plantio direto**. 2009. 103 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

KNOTHE, G. Perspectivas históricas de los combustibles diesel basados em aceites vegetales. **Revista A&G**, 47, Tomo XII, No. 2., 2001.

KNIGHTS, S.E. **Crambe: a North Dakota case study**. Rural Industries Research and Development Corporation, 2002. RIRDC Publication No W02/005, RIRDC Project No TA001-55. Disponível em: <http://www.rirdc.gov.au/reports/NPP/02-005.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2008.

LOPES, J.C.; MARTINS-FILHO, S.; TAGLIAFERRE, C.; RANGEL, O.J.P. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja produzidas em Alegre-ES. **Revista Brasileira de Sementes**, v.24, n.1, p.51-58, 2002.



MAEDA, J.A.; LIOLINO, J.H.; NISHIMORI, L.K.; MEDINA, P.F. Goiabeira (*Psidium guajava* L.): características dos frutos peculiares que afetam sua qualidade fisiológica. **Revista Brasileira de Sementes**, v.21, n.2, p.103-109, 1999.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495p.

MARCOS FILHO, J. **Water relations in seeds**. Disponível em: <<http://www.ag.ohio-state.edu/~seedbio/hcs631.htm>>. Acesso em: 14 abr. 2008.

MARTINAZZO, A.P.; CORRÊA, P.C.; RESENDE, O.; MELO, E.C. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.3, p.301-306, 2007.

MEIJER, W.J.M.; MATHIJSSSEN, E.W.J.M.; KREUZER, A.D. 1999. Low pod numbers and inefficient use of radiation are major constraints to high productivity in *Crambe* crops. **Industrial Crops and Products**, v.9, n. 3, p. 221-233, 1999.

MELLO, F.O.T.; PAULILLO, F.L.; VIAN, C.E.F. O biodiesel no Brasil: panorama, perspectivas e desafios. **Informações Econômicas**, v.37, n.1, p.28-40, 2007.

MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z.A. New model for single-layer drying. **Drying Technology**, v.20, n 7. p.1503-1513, 2002.

MIRANDA, L.C.; SILVA, W.R.; CAVARIANI, C. Secagem de sementes de soja em silo com distribuição radial do fluxo de ar. I - Monitoramento físico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.11, p.2097-2108, 1999.

OLIVA, A.C.E. 2010. **Qualidade de sementes de crambe submetidas a métodos de secagem e períodos de armazenamento**. 78f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, SP. 2010.

OLIVER, M.J.; BEWLEY, J.D. Desiccation tolerance of plant tissues: a mechanistic overview. **Horticultural Reviews**, v.18, n.3, p.171-213, 1997.

OPLINGER, E.S.; OELKE, E.A.; KAMINSKI, A.R.; PUTNAM, D.H.; TEYNOR, T. M.; DOLL, J.D.; KELLING, K.A.; DURGAN, B.R.; NOETZEL, D.M. *Crambe*. Alternative Field Crop Manual, 2000. Disponível em: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/crambe.html>. Acesso em: 2 jul. 2008.

OSAKI, M. & BATALHA, O.M. Produção de biodiesel e óleo vegetal no Brasil: realidade e desafio. **XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**, Rio Branco (SOBER) – Acre, 20 a 23 de julho de 2008.

PESKE, S.T.; VILLELA, F. Secagem de sementes. In: PESKE, S. T.; ROSENTHAL, M.; ROTA, G.R.M. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. Pelotas: UFPel, 2003, p. 283-322.

PIÑA-RODRIGUEZ, F.C.M.; JESUS, R.M. Comportamento das sementes de cedro-rosa (*Cedrella angustifolia* S. ET. MOC.) durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, v.14, n.1, p.31-36, 1992.

PITOL, C.; BROCH, D.L.; ROSCOE, R. **Tecnologia e produção: crambe**. Maracaju: Fundação MS, 2010. 60 p.

QUEIROZ, D.M.; PEREIRA, J.A.M., MELO, E.C. **Modelos matemáticos de simulação de secagem de grãos**. Viçosa: Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem, 1995. 59p

RESENDE, O., CORRÊA, P.C., GONELI, A.L.D., BOTELHO, F.M., RODRIGUES, S.; Modelagem matemática do processo de secagem de duas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.10, n.1, p.17-26, 2008.

SCHMIDT, L. **Guide to handling of tropical and subtropical forest seed**. Denmark: Danida Forest Seed Centre, 2000. 511 p.

SPRINGDALE **Crop Synergies Ltd. Abyssinian Mustard (Crambe)**. **Agronomy Update** late July 2005. Disponível em: <[http://www.springdale-group.com/crop\\_synergies/non\\_food\\_crops/crops/crambe.htm](http://www.springdale-group.com/crop_synergies/non_food_crops/crops/crambe.htm)>. Acesso em: 20 de janeiro de 2010.

STUMPF, M.; TERNES, T.A.; HABERER, K.; SEEL, P.; BAUMANN, W. Determination of natural estrogens in sewage treatment plants and river water. **Vom Wasser**, v.87, p.251-261, 1996.

TOLEDO, F.F.; MARCOS FILHO, J. **Manual de sementes: Tecnologia da produção**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1977. p.185-187.

VILLA GOMEZ, A.Y.; VILLA SENOR, R. R.; SALINAS, M.J.R. **Lineamento para El funcionamiento de un laboratorio de semillas**. Mexico: INIA, 1979. 128p.

VILLELA, F.A.; PERES, W.B. Coleta, secagem e beneficiamento de sementes. In. FERREIRA, A.G.; BORGUETTI, R. **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: ARTMED, 2004. p. 265-281.

## OBJETIVOS GERAIS

Diante do potencial de utilização dos biocombustíveis na matriz energética brasileira, bem como da escassez de informações a respeito dos fenômenos que ocorrem durante a secagem e armazenagem das espécies oleaginosas, além do avanço do conhecimento na área de tecnologia pós-colheita, objetivou-se no presente trabalho estudar a secagem e o armazenamento dos frutos de crambe em diferentes condições de ar, assim como avaliar a qualidade das sementes.

## CAPÍTULO 1

### **Influência da secagem na qualidade fisiológica dos frutos de crambe<sup>1</sup>**

**RESUMO.** Objetivou-se avaliar a qualidade fisiológica dos frutos de *Crambe abyssinica*, submetidos à secagem em diversas condições de ar. Frutos de crambe foram colhidos manualmente com teor de água de  $21,0 \pm 1,3$  (% b.u) e secas até o teor de  $7,0 \pm 1,4$  (% b.u.). A secagem foi realizada com ar natural (temperatura média de 23 °C e umidade relativa média de 60,6%), sete dias após a colheita, em secador experimental, nas temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70 °C e umidades relativas de 37,4; 22,3; 14,0; 8,3; 5,1 %, respectivamente. A qualidade dos frutos foi avaliada pela porcentagem de germinação, índice de velocidade de germinação (IVG), absorção de água e condutividade elétrica. Com o aumento da temperatura, o tempo de secagem foi reduzido e a qualidade dos frutos foi influenciada negativamente. Para a temperatura de 30 °C, o IVG e a porcentagem de germinação foram superiores às demais temperaturas avaliadas. O teor de água dos frutos de crambe depois da absorção de água foi mais elevado para as temperaturas de secagem de 23, 40 e 70 °C. A secagem em temperaturas elevadas não influenciou a condutividade elétrica.

**Palavras-chave:** semente oleaginosa, temperatura, *Crambe abyssinica* Hochst.

### **Influence of drying on physiological quality of crambe seeds**

**ABSTRACT.** The objective was to evaluate the physiological quality of *Crambe abyssinica* fruits, subjected to drying at various air conditions. Crambe fruits were collected manually with water content of  $21.0 \pm 1.3$  (% wb) and dried up to the level of

---

<sup>1</sup> Artigo aceito em 2011. Acta Scientiarum. Agronomy. Maringá.

7.0±1.4 (% wb). The drying was done with natural air (temperature of 23°C and average relative humidity of 60.6%), seven days after harvest in an experimental dryer at temperatures of 30, 40, 50, 60, and 70°C and relative humidity of 37.4, 22.3, 14.0, 8.3, and 5.1%, respectively. The fruits quality was evaluated by germination percentage, germination speed index (GSI), water absorption, and electrical conductivity. With increasing temperature, the drying time was reduced and fruits quality was influenced negatively. For 30°C temperature, GSI and germination percentage were higher than other evaluated temperatures. The water content of crambe fruits after water absorption was higher for drying temperatures of 23, 40, and 70°C. Drying at elevated temperatures did not influence the electrical conductivity.

**Keywords:** oilseed, temperature, *Crambe abyssinica* Hochst.

## Introdução

A capacidade que os sistemas agroindustriais possuem de prover energia de forma renovável está inserida nas discussões científicas por meio dos conceitos de agroenergia ou bioenergia (BENEDETTI et al., 2007). Dessa forma, assim como o petróleo que já foi difundido como commodity, (condição necessária para que haja crescimento econômico), a biomassa provavelmente se tornará a matéria-prima básica de todo o sistema produtivo (TEIXEIRA, 2002). A utilização de biodiesel como combustível vem apresentando um potencial promissor no mundo inteiro, sendo um mercado que cresce aceleradamente pela sua enorme contribuição ao meio ambiente, com a redução qualitativa e quantitativa dos níveis de poluição ambiental, principalmente nos grandes centros urbanos (FERRARI et al., 2005).

Várias oleaginosas estão sendo testadas ou já usadas para a produção de biodiesel: soja, mamona, dendê, girassol, amendoim, crambe, nabo forrageiro, colza e babaçu, entre outras (MELLO et al., 2007). O crambe (*Crambe abyssinica*) é uma planta da família das brassicaceae, surgindo como uma alternativa para a produção de matéria-prima visando à obtenção de biocombustível. Esta cultura apresenta como vantagens uma boa produção, características de tolerância à seca e à geada e, ainda, precocidade no ciclo com duração de, aproximadamente, 90 dias. Devido a estas características, o crambe pode ser cultivado no período de outono/inverno, com a semeadura realizada logo depois da colheita da soja, entre os meses de março/abril, apresentando-se como alternativa para o plantio da safrinha.

Para um aproveitamento ideal dos grãos durante a colheita, ou seja, um máximo teor de matéria seca, qualidade superior e valor de mercado, a secagem deveria ser realizada no momento da maturidade fisiológica dos grãos. No entanto, neste estágio, os grãos apresentam alto teor de água, estando sujeitos a danos mecânicos nas demais operações durante o processamento (ANDRADE et al., 2006). As sementes, sendo higroscópicas, sofrem variações no seu teor de água de acordo com as condições do ambiente. Quando entram em contato com o ar, realizam trocas até que sua pressão de vapor e a temperatura tenham valores semelhantes, atingindo níveis de equilíbrio energético, hídrico e térmico. Entretanto, a temperatura do ar de secagem deve ser controlada, dentro de certos limites, evitando-se, assim, possíveis danos físico-químicos e biológicos às sementes (ELIAS, 2002).

O aquecimento excessivo das sementes durante a secagem pode provocar danos, como redução da percentagem e velocidade de germinação, produção de plântulas anormais, trincamentos internos, rompimento do tegumento e alterações na coloração. A extensão dos danos depende da interação entre a temperatura, tempo de exposição e teor de água na semente (BORGES, 2001).

O potencial fisiológico das sementes pode ser determinado com o uso de características derivadas do teste de germinação. Testes baseados na integridade do sistema de membranas celulares estimam o vigor das sementes e permitem que a deterioração seja detectada em sua fase inicial (MARCOS FILHO, 1999). A germinação é considerada um dos mais importantes estádios do biociclo vegetal, caracterizada por processos fisiometabólicos de natureza complexa, que levam à retomada do crescimento do eixo embrionário, culminando com a protrusão da radícula através do tegumento das sementes (BEWLEY & BLACK, 1994).

Segundo Marcos Filho (2005) e Andrade et al. (2006), a germinação das sementes inicia-se com a embebição, que é o mecanismo de absorção de água. O processo de embebição de água pela semente desencadeia uma sequência de mudanças metabólicas que culminam com a protrusão da radícula, quando se refere às sementes viáveis não dormentes (CARVALHO & NAKAGAWA, 2000). Entre os testes de vigor mais conhecidos, incluem-se a velocidade e a primeira contagem de germinação. Esses testes são de fácil execução, uma vez que a coleta de dados é efetuada no próprio teste de germinação. O teste de velocidade de germinação considera que lotes cujas sementes germinam mais rápido são mais vigorosos, havendo, portanto, relação direta entre velocidade de germinação e vigor das sementes (SILVA & VIEIRA, 2006)

Outros métodos são utilizados para identificar os lotes mais vigorosos, um deles é o teste de condutividade elétrica, tido como rápido, prático e fácil de ser conduzido para determinação do vigor de sementes, não necessitando de muitos equipamentos e treinamento pessoal (VIEIRA & KRZYZANOWSKI, 1999). O valor da condutividade elétrica medida na solução de embebição de sementes é função da quantidade de íons lixiviados, estando diretamente relacionado com a integridade das membranas celulares. Desta forma, membranas mal estruturadas e células danificadas estão, geralmente, associadas com o processo de deterioração da semente, ou seja, com sementes de baixo vigor (VIEIRA & KRZYZANOWSKI, 1999; AOSA, 2002).

Na literatura, existe carência de informações a respeito das alterações que podem ocorrer nas sementes de crambe durante a secagem. Desta forma, torna-se relevante a elaboração de trabalhos referentes ao assunto, que possam gerar informações teóricas e práticas para melhor conservação do produto. Com este trabalho, objetivou-se estudar o efeito da secagem em diferentes condições de ar sobre a qualidade fisiológica das sementes de *Crambe abyssinica*.

## **Material e métodos**

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Pós-colheita de Produtos Vegetais e no Laboratório de Sementes do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – *campus* Rio Verde (IF Goiano – *Campus* Rio Verde). A colheita dos frutos do crambe (*Crambe abyssinica*) da cultivar FMS Brilhante, da Fundação MS, e a triagem das sementes foram feitas manualmente.

O teor de água dos frutos do crambe foi determinado por gravimetria, utilizando-se a estufa a  $105 \pm 1$  °C com ventilação forçada, durante 24 horas, em três repetições (BRASIL, 2009). O teor de água inicial dos frutos foi de  $21,0 \pm 1,3$  (% b.u.). O experimento foi montado com seis tratamentos (uma secagem natural e cinco condições artificiais), em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. A secagem artificial foi realizada após 7 dias da colheita dos frutos em secador experimental com ventilação forçada nas temperaturas controladas de 30, 40, 50, 60, 70 °C e umidades relativas de 37,4; 22,3; 14,0; 8,3; 5,1%, respectivamente. Durante o processo de secagem, as bandejas com as amostras foram pesadas, periodicamente, até o teor de água de  $7,0 \pm 1,4$  (% b.u.). A temperatura e a umidade relativa do ar de secagem foram monitoradas por meio de um psicrômetro instalado no interior do secador. A

secagem natural ocorreu na própria planta com as condições ambientais médias de temperatura de 23 °C e umidade relativa de 60,6%, até o teor de água em 6,0 % b.u..

Os dados foram analisados por meio de análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, adotando-se o nível de 5% de probabilidade.

O teste de germinação foi conduzido com quatro subamostras de 30 frutos de cada lote, acondicionadas em caixas tipo “gerbox” sobre papel mata-borrão umedecido com água destilada equivalente a 2,5 vezes a massa do substrato seco, visando ao umedecimento adequado e, conseqüentemente, à uniformização do teste. Em seguida, foram mantidas em germinador tipo “Mangelsdorf”, regulado a uma temperatura constante de 25±2 °C. As interpretações foram efetuadas a partir do 2º dia após a semeadura e, em seguida, avaliadas a cada dois dias até completar 32 dias, segundo os critérios estabelecidos nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). Posteriormente, foram computados a porcentagem média de germinação e o índice de velocidade de germinação (IVG), segundo Maguire (1962).

Para a determinação da absorção de água depois da secagem, as amostras foram submetidas à hidratação em água destilada durante um período de 12 horas. A absorção do produto foi realizada em câmara do tipo B.O.D. com a temperatura regulada para 25±2 °C. Foram utilizados copos plásticos (capacidade de 100 mL) contendo 75 mL de água destilada juntamente com 15 g do produto, perfazendo uma relação em massa de 5:1. Após, as amostras foram agitadas levemente com um bastão para que todos os frutos ficassem completamente submersos. Depois do período de hidratação, as amostras foram retiradas dos copos e colocadas sobre papel filtro para escoamento da água superficial durante dois minutos, em seguida, pesadas. O teor de água depois da absorção foi obtido por meio da seguinte equação:

$$U^* = \frac{M_e - M_s}{M_s} \quad (1)$$

em que:

$U^*$ : teor de água do produto, decimal b.s.

$M_e$ : massa depois da embebição, kg

$M_s$ : massa da matéria seca do produto, kg

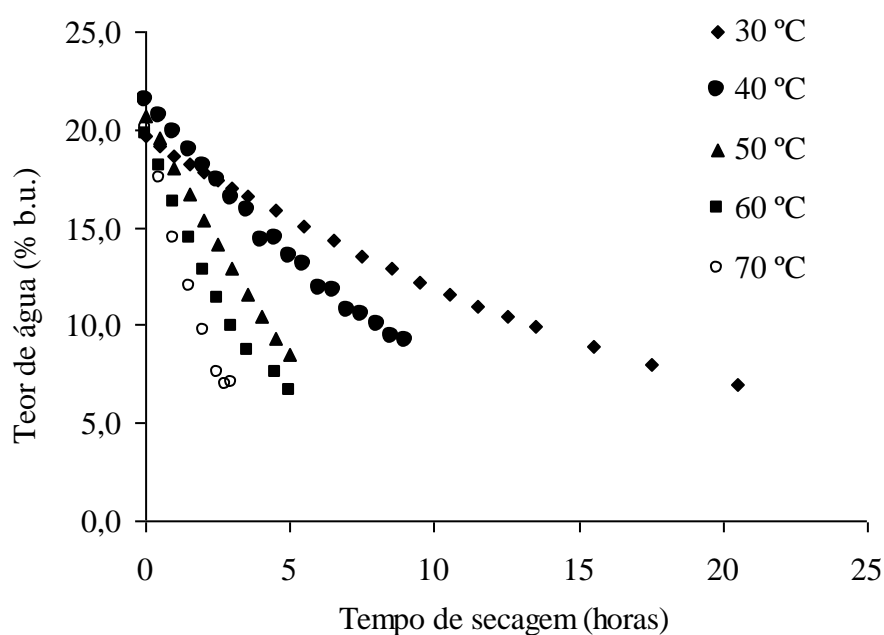
O teste de condutividade elétrica (CE) foi realizado nos frutos de crambe, segundo metodologia descrita por Vieira e Krzyzanowski (1999). Foram utilizadas 50 frutos para 4



subamostras de cada tratamento, pesadas com balança de precisão de duas casas decimais (0,01 g). As amostras foram colocadas para embeber em copos plásticos com 75 mL de água deionizada e mantidas em câmara do tipo B.O.D. com temperatura controlada a 25 °C, durante 24 horas. As soluções contendo os frutos foram levemente agitadas para uniformização dos lixiviados e imediatamente se procedeu à leitura em condutivímetro digital portátil, sendo os resultados expressos em  $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$  de sementes, dividindo-se a leitura verificada pela massa.

## Resultados e Discussão

Na Figura 1 são apresentadas as curvas de secagem em diversas condições de ar para o *Crambe abyssinica*. Verificou-se que os tempos de secagem dos frutos de crambe, considerando a redução do teor de água de  $21,0 \pm 1,3$  para  $7,0 \pm 1,4$  (% b.u.) e para as temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70 °C, foram de 20,5; 8,5; 5,0; 5,0; e 2,75 horas, respectivamente.



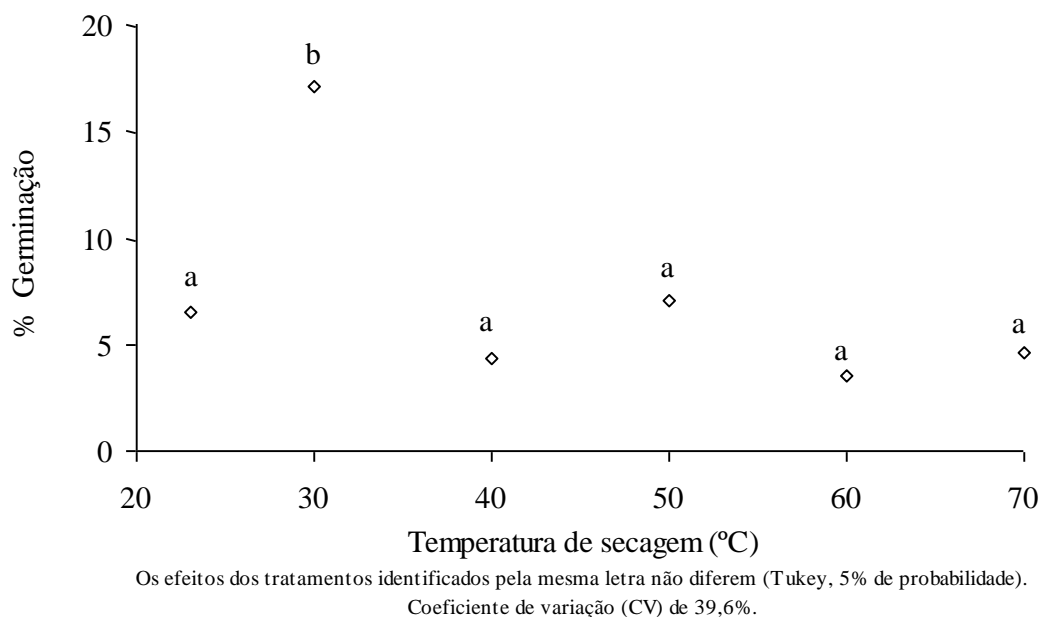
**Figura 1:** Curvas de secagem dos frutos de *Crambe abyssinica* nas temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70 °C.

Desta forma, observou-se que com o aumento da temperatura ocorreu a diminuição do tempo de secagem, evidenciando a maior velocidade de retirada de água. Conforme esperado, o tempo final de secagem foi afetado pela temperatura, notando-se

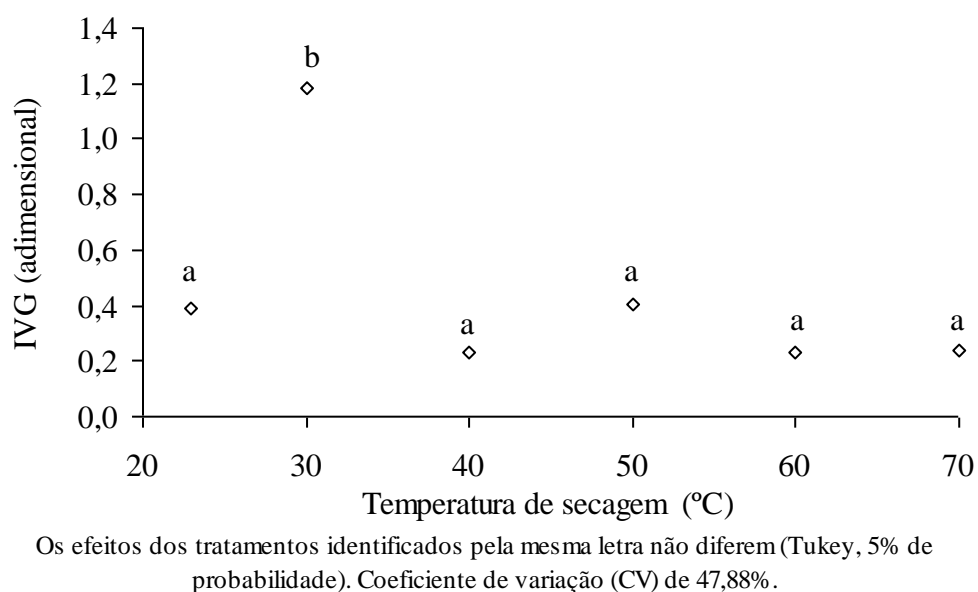
um intervalo maior entre as temperaturas de secagem de 70 °C e 30 °C. Este fato também foi observado por Ullmann et al. (2010), durante a secagem do pinhão manso nas temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70 °C, que verificaram ainda que a elevação da temperatura de secagem aumentou a taxa de secagem e diminuiu a relação de umidade e o tempo necessário para que o produto chegasse ao teor de água de 0,09 (decimal b.s.).

Segundo Peske et al. (2003), a utilização de temperaturas elevadas permite uma secagem mais rápida, porém, pode provocar uma elevada diferença de teor de água entre a periferia e o centro da semente, gerando um gradiente de pressão que causa o trincamento, principalmente em sementes de milho e arroz.

Nas Figuras 2 e 3, são apresentados os valores da porcentagem de germinação e do IVG em sementes de *Crambe abyssinica* submetidas à secagem. Nota-se que ocorreu uma baixa porcentagem de germinação para todas as temperaturas analisadas. Este comportamento pode ter ocorrido por uma possível dormência das sementes recém-colhidas, provavelmente pela presença de inibidores da germinação, como, por exemplo, ácido abscísico (LEPRINCE et al., 1993), ou pela resistência dos tecidos que circundam o embrião (BEWLEY et al., 1989; BERRY & BEWLEY, 1991), que podem inibir a germinação. Segundo Guimarães (1999), as sementes que suportam a dessecação dispõem de alguns mecanismos de proteção capazes de manter os sistemas de membranas das células, as estruturas das macromoléculas e as substâncias de reserva em condições de readquirirem suas funções fisiológicas quando são reidratadas. Algumas sementes, como as de feijão e milho, quando intensamente desidratadas e posteriormente embebidas em água, podem sofrer danos irreparáveis no sistema de membranas, o que leva à lixiviação do conteúdo celular, prejudicando, conseqüentemente, a germinação (FERREIRA & BORGHETTI, 2004; PARMMENTER et al., 2000; WALTERS et al., 2001). Para a porcentagem de germinação, não foi realizado o teste de normalidade e homogeneidade da variância, pois se observa na Figura 2 um elevado valor do coeficiente de variação. Verifica-se que as porcentagens médias de sementes de crambe germinadas foram de 6,5; 17,1; 4,4; 7,1; 3,5 e 4,6 (%) para as temperaturas de secagem de 23, 30, 40, 50 e 60 e 70 °C, respectivamente. Verifica-se, ainda, que, para a temperatura de 30 °C, houve um maior índice de germinação quando comparado às demais temperaturas.



**Figura 2:** Porcentagem de germinação das sementes de *Crambe abyssinica* submetidas à secagem em temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70 °C.

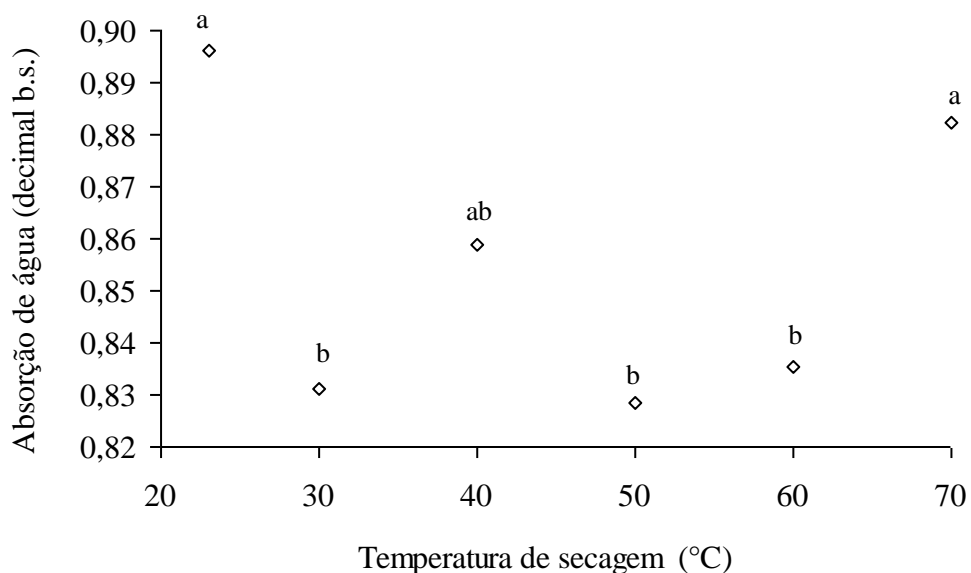


**Figura 3:** Índice de Velocidade de Germinação (IVG) das sementes de *Crambe abyssinica* submetidas à secagem em temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70 °C.

Com relação ao IVG, Figura 3, o resultado foi semelhante ao encontrado para a germinação, tendo sido constatado que, apesar de serem submetidas a um severo estresse hídrico, a porcentagem das sementes foi significativamente superior para a temperatura de 30 °C. Esse comportamento também foi verificado em sementes de feijão adzuki por Almeida et al. (2009). Para as sementes de crambe, as análises de

variância dos dados revelaram diferença estatística para o IVG entre os tratamentos de dessecação somente para a temperatura de 30 °C. De acordo com o teste do IVG, pôde-se afirmar que a secagem exerceu influência sobre o vigor das sementes dessa espécie.

Na Figura 4, estão apresentados os valores de absorção de água dos frutos de crambe submetidas a diferentes condições de secagem. Nota-se que a absorção de água dos frutos secos a 40 °C e 70 °C foi semelhante à secagem natural (23 °C). Nas demais temperaturas de secagem, a absorção foi menor. Este fato pode ser justificado devido ao tegumento do crambe ter se mostrado resistente à entrada de água durante a embebição. A quantidade de água absorvida depende da espécie, semente, variedade ou cultivar, temperatura ambiente, composição química da semente, teor de água inicial, natureza do tegumento e quantidade de água disponível (BEWLEY e BLACK, 1994).



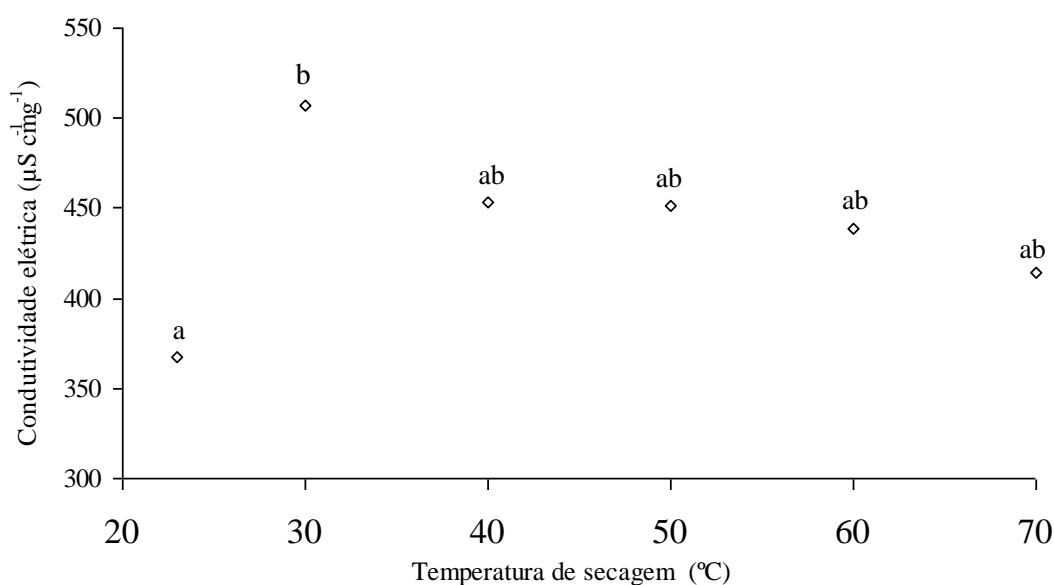
Os efeitos dos tratamentos identificados pela mesma letra não diferem (Tukey, 5% de probabilidade). Coeficiente de variação (CV) 2,06%

**Figura 4:** Absorção de água de frutos de *Crambe abyssinica* submetidos à secagem em temperaturas de 22, 30, 40, 50, 60 e 70 °C.

Na Figura 5, estão apresentados os resultados referentes ao teste de condutividade elétrica de frutos de crambe submetidos a diferentes condições de secagem. O teste de condutividade avalia o grau de estruturação das membranas celulares em decorrência da deterioração das sementes, por meio da determinação da quantidade de íons lixiviados em solução de embebição. Neste teste, as sementes de menor potencial fisiológico liberam maior quantidade de lixiviados, como consequência da menor estruturação e

seletividade das membranas (VIEIRA & KRZYZANOWSKI, 1999). Na Figura 5, verifica-se que a condutividade elétrica foi menor nos frutos secados naturalmente (23 °C) e mais elevada nos secos a 30 °C, sem haver diferença significativa entre as temperaturas da secagem artificial. Esperava-se que a liberação de íons na solução das sementes de crambe secas em temperaturas mais elevadas fosse maior por causa da maior velocidade de remoção da água pela secagem, o que não ocorreu neste trabalho, cuja condutividade elétrica dos frutos secos em temperaturas acima de 30 °C foi semelhante à dos frutos secados naturalmente na planta. Silva et al. (2007) observaram que a menor incidência de danos condicionou menores valores de condutividade elétrica na secagem de soja.

Ullmann et al. (2010) verificaram aumento da condutividade elétrica com a elevação da temperatura de secagem de 30 a 70 °C em sementes de pinhão manso, cujos lixiviados foram mais acentuados na temperatura de 70 °C. Desta forma, fica evidenciado que temperaturas de secagem acima de 60 °C removem a água do interior das sementes com maior agressividade, ocasionando microfissuras em nível celular.



Os efeitos dos tratamentos identificados pela mesma letra não diferem (Tukey, 5% de probabilidade). Coeficiente de variação (CV) 39,6%.

**FIGURA 5:** Condutividade elétrica CE ( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ ) de frutos de *Crambe abyssinica* submetidos à secagem em temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70 °C.

## Conclusões

Nas condições em que foi desenvolvido o presente trabalho, conclui-se que o tempo de secagem dos frutos de *Crambe abyssinica* foi reduzido com o aumento da temperatura e que a qualidade fisiológica das sementes do crambe foi influenciada pelo aumento da temperatura.

Houve diferença para as características IVG e porcentagem de germinação na temperatura de secagem de 30 °C, sendo que, nessa temperatura, o IVG e a porcentagem de germinação foram superiores às demais temperaturas avaliadas.

A taxa de absorção de água do crambe foi mais elevada para as temperaturas de secagem de 23, 40 e 70 °C. A secagem em temperaturas elevadas não influenciou a condutividade elétrica.

## Agradecimentos

Agradecimento à Capes, pela concessão de bolsa ao primeiro autor, e ao CNPq, pelo apoio financeiro indispensável na execução do presente trabalho.

## Referências

ALMEIDA, D. P.; RESENDE, O. ; SALES, J. F.; COSTA, L. M.; MENDES, U. C. Influência da Secagem na Germinação de Sementes de Feijão Adzuki (*Vigna angularis*). **III Congresso de Iniciação Científica do IFGoiano Rio Verde – 2009**. CD-ROM

ANDRADE, E. T.; CORREA, P. C.; TEIXEIRA, L. P; PEREIRA, R. G; CALOMENIJ. F. Cinética de Secagem e Qualidade de Sementes de Feijão. **Engevista**, v. 8, n. 2, p. 83-95, 2006.

ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS. **Seed vigor testing handbook**. Lincoln, 2002. 105p. (Contribution, 32).

BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009. 395p.

BENEDETTI, O. PLÁ. J. A.; RATHMANN, R.; PADULA, A. D. Uma proposta de modelo para avaliar a viabilidade do biodiesel no Brasil Teoria e Evidência Econômica, Passo Fundo, v. 14, **ed. Especial**, p. 81-107, 2007.

BERRY, T.; BEWLEY, J.D. Seeds of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) which develop in a fully hydrated environment in the fruit switch from a developmental to a germinative mode without a requirement for desiccation. **Planta**, Berlim, v.186, n.1, p.27-34, 1991.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. 2. ed. New York: Plenum, 1994. 45 p.

BEWLEY, J.D.; KERMODE, A.R.; MISRA, S. Desiccation and minimal drying treatments of seeds of castor bean and *Phaseolus vulgaris* which terminate development and promote germination cause changes in protein and messenger RNA synthesis. **Annals of Botany**, New York, v.63, n.1, p.3-17, 1989.

BORGES, J.W.M. **Trincamento interno, tratamento fungicida e qualidade de sementes de milho** 37f. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2001.

CARVALHO, N.M. & NAKAGAWA, J. **Sementes: Ciência, Tecnologia e Produção**. Jaboticabal: Funep, 4.ed. 588p., 2000.

ELIAS, M.C. **Armazenamento e conservação de grãos em médias e pequenas escalas**. Pelotas, 2002. Polo de Inovação Tecnológica em Alimentos da Região Sul. UFPEL-FAEM-DCTA, 2002. 218p.

FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. **Germinação: do básico ao aplicado**. São Paulo: Artmed, 2004. 323 p.

FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. S.; SCABIO, A. Biodiesel de soja –**Taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia**. Ponta Grossa - PR , *Quim. Nova*, v.28, n.1, p 19-23, 2005.

GUIMARÃES, R. M. *Fisiologia de Sementes*. Lavras: UFLA/FAEPE, 1999. 132.

LEPRINCE, O.; HENDRY, G.A.F.; McKERSIE, B.D. The mechanisms of desiccation tolerance in developing seeds. **Seed Science Research**, Wallingford, v.3, n. 3, p.231-246, 1993.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: Fealq, 2005. 495p.

MELLO, F. O T.; PAULILLO, L.F.; VIAN, C. E. F. O Biodiesel no Brasil: Panorama, perspectivas e desafios. **Informações Econômicas**. São Paulo, v.37, n.1, p.28-40, 2007.

PARMMENTER, N. W.; BERJAKE, P.; WALTERS, C. The Effect of drying rate on recalcitrant seeds: lethal water contents causes of damage and quantification of recalcitrance. In: BLACK, M.; BRADFORD, K. J.; VASQUEZ-RAMOS, J. (Eds.). **Seed biology: advances and applications**. [S.l.]: CAB International, p. 215-221, 2000.

PESKE, S.T.; VILLELA, F. Secagem de sementes. In: PESKE, S. T.; ROSENTHAL, M.; ROTA, G.R.M. **Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos**. Pelotas, Editora e Gráfica Universitária (UFPel), p. 283-322. 2003.

SILVA, J. B.; VIEIRA, R. D. Avaliação do potencial fisiológico de sementes de beterraba. *Revista Brasileira de Sementes*. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas. v. 28, nº 2, p.128-134, 2006



SILVA, P.A.; DINIZ, K.A.; OLIVEIRA, J.A.; PINHO, E.V.R.V. Análise fisiológica e ultraestrutural durante o desenvolvimento e a secagem de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 2, p.15-22, 2007.

TEIXEIRA, M. **Biomassa de Babaçu no Brasil**. Anais do AGRENER 2002 – 4º Encontro de Energia no Meio Rural. 29 a 31 de Outubro de 2002 Unicamp.

ULLMANN, R.; RESENDE, O.; SALES, J.F.; CHAVES, T.H. Qualidade das sementes de pinhão manso submetidas à secagem artificial. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n.3, p. 442-447, 2010.

VIEIRA, R.D.; KRZYZANOWSKI, F.C. Teste de condutividade elétrica. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. cap. 4, p.1-26.

WALTERS, C.; PAMMENTER, N. W.; BERJAK, P.; CRANE, J. Desiccation damage, accelerated ageing and respiration in desiccation tolerant and sensitive seeds. **Seed Science Research**, Wallingford, v. 11, n.2, p. 135-148, 2001.

## CAPÍTULO 2

### **Coefficiente de difusão efetivo e modelagem matemática da secagem dos frutos de crambe<sup>2</sup>**

#### **Resumo**

O mecanismo pelo qual ocorre a difusão da água nos produtos agrícolas é complexo devido à diversidade da composição química e estrutura física dos produtos. O objetivo no presente trabalho foi ajustar diversos modelos matemáticos ao processo de secagem dos frutos de crambe (*Crambe abyssinica*), em diversas condições de ar, bem como determinar o coeficiente de difusão efetivo e obter a energia de ativação. Foram utilizadas sementes de crambe, colhidas com teor de água de 0,26 (decimal b.s.) e secas até o teor de 0,09 (decimal b.s.). A secagem do produto foi realizada sob diferentes condições controladas de temperatura 30, 40, 50, 60 e 70 °C e umidades relativas de 37,4; 22,3; 14,0; 8,3; 5,1%, respectivamente. Entre os modelos que apresentaram melhor ajuste aos dados experimentais, o modelo de Wang e Singh foi o que melhor se ajustou aos dados nas diferentes condições de secagem. O coeficiente de difusão efetivo aumentou com a elevação da temperatura, apresentando valores de  $0,88 \times 10^{-11}$ ;  $1,99 \times 10^{-11}$ ;  $2,90 \times 10^{-11}$ ;  $3,48 \times 10^{-11}$ ;  $5,85 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ , para as temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70 °C, respectivamente, durante a secagem do crambe. A relação entre o coeficiente de difusão efetivo e a temperatura de secagem pode ser descrita pela equação de Arrhenius, que apresenta uma energia de ativação para a difusão líquida na secagem de 37,07 kJ.mol<sup>-1</sup>.

---

<sup>2</sup> Artigo publicado. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, PB. v.15, n.10, p.1089–1096, 2011.

**Palavras Chaves:** difusão líquida, movimentação de água, oleaginosa

### **Effective diffusion coefficient and mathematical modeling for seeds crambe drying**

#### **Abstract**

The mechanism by which the water diffusion in agricultural products occurs is complex due to the diversity of chemical composition and products physical structure. This work aimed to adjust various mathematical models to the drying process of crambe fruits (*Crambe abyssinica*) under various air conditions, to determine the effective diffusion coefficient, and obtain the activation energy. Crambe seeds were used, harvested with a water content of 0.26 (db - dry basis - decimal) and dried to the level of 0.09 (db decimal). The product drying was carried out under different controlled conditions of temperature of 30, 40, 50, 60, and 70°C and relative humidities of 37.4, 22.3, 14.0, 8.3, and 5.1%, respectively. Among the models that presented the best fit to the experimental data, Wang and Singh model was that one that best fit to the data under different drying conditions. The effective diffusion coefficient increased with increasing temperature, with values of  $0.88 \times 10^{-11}$ ,  $1.99 \times 10^{-11}$ ,  $2.90 \times 10^{-11}$ ,  $3.48 \times 10^{-11}$ , and  $5.85 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  for temperatures of 30, 40, 50, 60, and 70°C, respectively, during the crambe drying. The relationship between the effective diffusion coefficient and the drying temperature can be described by the Arrhenius' equation, which has activation energy for liquid diffusion in the drying of  $37.07 \text{ kJ mol}^{-1}$ .

**Key words:** liquid diffusion, water movement, oilseed

## **INTRODUÇÃO**

O crambe (*Crambe abyssinica*) é uma planta da família das brassicaceae e surge como uma alternativa para a produção de matéria-prima visando à obtenção de biocombustível. Depois da colheita, o crambe deve ser submetido à secagem para reduzir o seu teor de água até 0,11 (decimal b.s.) e garantir o armazenamento seguro do produto (Oplinger et al., 2000). De acordo com Golz (1993), a temperatura de secagem, visando à manutenção da qualidade das sementes do crambe, deve ser no máximo de 43,3 °C.

Estudos de sistemas de secagem, seu dimensionamento, otimização e a determinação da viabilidade de sua aplicação comercial podem ser feitos por simulação matemática. Para a simulação, cujo princípio se fundamenta na secagem de sucessivas camadas delgadas do produto, utiliza-se um modelo matemático que representa satisfatoriamente a perda de umidade do produto durante o período de secagem. Na literatura, encontram-se vários métodos propostos para analisar a secagem em camada fina de produtos higroscópicos: os teóricos, os semiteóricos e os empíricos (Afonso Júnior & Corrêa, 1999).

As curvas de secagem em camada delgada variam com a espécie, variedade, condições ambientais, métodos de preparo pós-colheita, entre outros fatores. Nesse sentido, diversos modelos matemáticos têm sido utilizados para descrever o processo de secagem de produtos agrícolas (Resende et al., 2008; Resende et al., 2009; Resende et al., 2010). Segundo Brooker et al. (1992), a maioria dos modelos empregados para representar a secagem dos produtos agrícolas foi desenvolvida negligenciando a importância da contração volumétrica do produto durante o processo de desidratação. A representação matemática do processo de secagem de diversos produtos agrícolas vem, há algum tempo, sendo estudada e utilizada na tentativa de prever os fenômenos que acontecem durante este processo. Inúmeros modelos matemáticos têm sido estudados com o objetivo de projetar, controlar e otimizar unidades de secagem (Rocha et al., 2005).

Diversas teorias e fórmulas empíricas foram desenvolvidas para prever a taxa de secagem: Teoria da difusão líquida, Teoria capilar, Teoria de Luikov, Teoria de Philip e de Vries, Teoria de Krisher – Berger e Pei, e Teoria da condensação – evaporação. As duas primeiras são básicas e fundamentam as outras (Martinazzo et al., 2007). Atualmente, pesquisas relacionadas ao estudo da cinética de secagem em camada delgada são realizadas com diversos produtos agrícolas, como sementes, grãos, frutos e em algumas espécies de plantas, com importância econômica. Observa-se, conforme o produto e as condições do processo de secagem, que diferentes modelos se ajustam a cada situação específica (Martinazzo et al., 2007)

Segundo Brooker et al. (1992), na teoria da difusão líquida, a segunda lei de Fick tem sido utilizada para estabelecer a difusão da água em função do gradiente de concentração. O coeficiente de difusão é uma difusividade efetiva que engloba os efeitos de todos os fenômenos, podendo intervir sobre a migração da água, e o seu valor é sempre obtido pelo ajuste das curvas experimentais (Martinazzo et al., 2007). A

solução da equação de difusão utilizada é uma das mais simples e parece ser a principal razão de seu emprego. Pode-se entender a difusividade como a facilidade com que a água é removida do material. Como a difusividade varia conforme mudam as condições de secagem (temperatura e velocidade do ar), ela não é intrínseca ao material. Assim, convencionou-se chamá-la de difusividade efetiva (Oliveira et al., 2006).

No presente trabalho, objetivou-se ajustar modelos matemáticos ao processo de secagem das sementes de crambe (*Crambe abyssinica*) em diversas condições de ar, bem como determinar o coeficiente de difusão efetivo e obter a energia de ativação para o processo.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Pós-colheita de Produtos Vegetais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Goiás, Brasil (IF Goiano – Campus Rio Verde). A colheita do crambe (*Crambe abyssinica*), cultivar FMS Brilhante, foi feita manualmente, com o teor de água das sementes de 0,26 (decimal b.s.). A secagem foi feita em estufa modelo MA-035, com ventilação forçada nas seguintes condições de ar: temperaturas de secagem de 30, 40, 50, 60 e 70 °C e umidades relativas de 37,4; 22,3; 14,0; 8,3 e 5,1%, respectivamente.

A temperatura e a umidade relativa do ar de secagem foram monitoradas por meio de um psicrômetro instalado no interior do secador. Durante o processo de secagem, as bandejas com 400g das amostras com quatro repetições por temperatura foram pesadas, periodicamente, até o teor de água de 0,09 (decimal b.s.).

Os teores de água do produto foram determinados por gravimetria, utilizando estufa a 105±1 °C, durante 24 h, em três repetições (Brasil, 2009).

Para a obtenção do equilíbrio higroscópico do crambe, foram utilizadas três repetições, contendo 10g de produto, mantidas nas mesmas condições de secagem e pesadas periodicamente até a massa permanecer constante. As razões de umidade do produto foram determinadas pela expressão:

$$RU = \frac{X^* - X_e^*}{X_i^* - X_e^*} \quad (1)$$

em que:

RU - razão de umidade do produto, adimensional

$X^*$  - teor de água do produto, decimal (b.s.)

$X_e^*$  - teor de água de equilíbrio do produto, decimal (b.s.)

$X_i^*$  - teor de água inicial do produto, decimal (b.s.)

Aos dados experimentais de secagem do crambe, foram ajustados os modelos matemáticos frequentemente utilizados para representação da secagem de produtos agrícolas (Afonso Júnior & Corrêa, 1999; Akpinar et al., 2003; Ertekin & Yaldiz, 2004; Lahsasni et al., 2004), cujas expressões estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Modelos matemáticos utilizados para predizer o fenômeno de secagem de produtos agrícolas

Designação do modelo	Modelo	
Wang e Singh	$RU = 1 + a t + b t^2$	(2)
Verma	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 - a) \exp(-k_1 \cdot t)$	(3)
Thompson	$RU = \exp \left( \left( \frac{-a - (a^2 + 4 \cdot b \cdot t)^{0,5}}{2 \cdot b} \right) \right)$	(4)
Page	$RU = \exp(-k \cdot t^n)$	(5)
Newton	$RU = \exp(-k \cdot t)$	(6)
Midilli	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$	(7)
Logarítmico	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t) + c$	(8)
Henderson e Pabis	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t)$	(9)
Henderson e Pabis Mod.	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t) + b \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + c \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$	(10)
Exponencial de Dois	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 - a) \exp(-k \cdot a \cdot t)$	(11)
Dois Termos	$RU = a \cdot \exp(-k_0 \cdot t) + b \cdot \exp(-k_1 \cdot t)$	(12)
Aproximação da Difusão	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t) + (1 - a) \cdot \exp(-k \cdot b \cdot t)$	(13)

em que:

$k, k_0, k_1$ : constantes de secagem,  $s^{-1}$

$a, b, c, n$ : coeficientes dos modelos

Para o ajuste dos modelos, foram realizadas análises de regressão não linear pelo método Gauss-Newton, utilizando um programa estatístico, o erro médio estimado (SE), a magnitude do erro médio relativo (P), a magnitude do coeficiente de determinação -  $R^2$ , que, apesar de não ser um bom parâmetro para verificar o ajuste de modelos não-lineares, normalmente apresenta maiores valores para os modelos que

melhor se ajustam aos dados experimentais, e a verificação do comportamento da distribuição dos resíduos. Os erros médios relativo e estimado para cada um dos modelos foram calculados conforme as seguintes expressões:

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (14)$$

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (15)$$

em que:

Y - valor observado experimentalmente

$\hat{Y}$  - valor estimado pelo modelo

n - número de observações experimentais

O modelo matemático da difusão líquida, com a solução analítica para a forma geométrica esférica, com aproximação de oito termos (Eq. 16), foi ajustado aos dados experimentais de secagem do crambe, considerando o raio equivalente inicial dos grãos e mantendo-o constante ao longo da secagem.

$$RU = \frac{X_i^* - X_e^*}{X_i^* - X_e^*} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp \left[ -\frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot D \cdot t}{9} \cdot \left( \frac{3}{R} \right)^2 \right] \quad (16)$$

em que:

RU - razão de umidade, adimensional

D - coeficiente de difusão efetivo,  $m^2 s^{-1}$

n - número de termos

R - raio de esfera equivalente 0,0037 m

t - tempo, s

O raio equivalente ( $R_e$ ) é definido como o raio de uma esfera com volume equivalente ao do grão, sendo obtido conforme a expressão (17):

$$Re = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot V_g}{4 \cdot \pi}} \quad (17)$$

O volume de cada grão ( $V_g$ ) foi obtido por meio da medição dos três eixos ortogonais (comprimento, largura e espessura), em trinta grãos no início da secagem, com auxílio de um paquímetro digital modelo 176BL com resolução de 0,01 mm, de acordo com a expressão proposta por Mohsenin (1986):

$$V_g = \frac{\pi \cdot (a \cdot b \cdot c)}{6} \quad (18)$$

em que,

$V_g$  - volume do grão,  $m^3$

A - maior eixo do grão, m

B - eixo médio do grão, m

C - menor eixo do grão, m

A relação do aumento do coeficiente de difusão com a elevação da temperatura do ar de secagem foi descrita por meio da equação de Arrhenius.

$$D = D_o \cdot \exp\left(\frac{-E_a}{R \cdot T_a}\right) \quad (19)$$

em que:

$D_o$  - fator pré-exponencial

$E_a$  - energia de ativação,  $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

R - constante universal dos gases,  $8,134 \text{ kJ} \cdot \text{kmol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

$T_a$  - temperatura absoluta, K

Os coeficientes da expressão de Arrhenius foram obtidos linearizando a Eq. 20 com a aplicação do logaritmo da seguinte forma:

$$\ln D = \ln D_o - \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T_a} \quad (20)$$

Os valores do coeficiente de difusão efetivo foram submetidos à análise de variância e ao teste de comparação de médias de Tukey a 5 % de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1, são apresentadas as curvas de secagem em diversas condições de ar para o *Crambe abyssinica*.



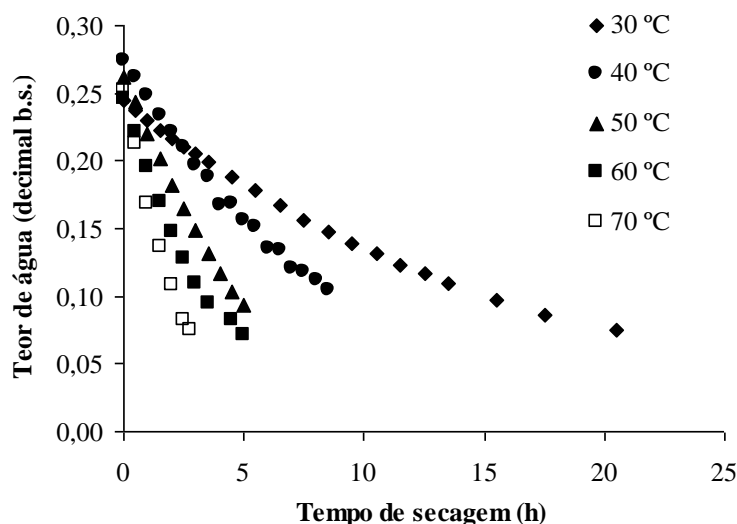


Figura 1. Curvas de secagem dos frutos de *Crambe abyssinica* nas temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70 °C

Verificou-se que os tempos de secagem dos frutos de crambe, considerando a redução do teor de água de 0,26 para 0,09 (decimal b.s.), nas temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70 °C, foram 20,5; 8,5; 5,0; 5,0; e 2,75 h, respectivamente. Verificou-se que com o aumento da temperatura ocorreu a diminuição do tempo de secagem, evidenciando a maior velocidade de retirada de água. Pode-se notar que a cinética de secagem do crambe apresenta as mesmas características da maioria dos grãos agrícolas (Almeida et al., 2009; ) ou seja, existe uma clara dependência da velocidade da secagem em relação à temperatura do ar. Segundo Peske et al. (2003), a utilização de temperaturas elevadas permite uma secagem mais rápida, porém, pode provocar diferença de teor de água entre a periferia e o centro da semente, gerando um gradiente de pressão que pode causar danificação mecânica.

Na Tabela 2, é apresentado o resumo do ajuste dos doze modelos analisados por meio de regressão não linear aos dados experimentais de secagem de crambe em camada fina, considerando as diferentes temperaturas do ar de secagem. O modelo Wang e Singh apresentou menor valor de erro médio estimado (SE) e magnitude do erro médio relativo (P) inferior a 10%, indicando, de acordo com Mohapatra & Rao (2005), ser adequado para a descrição do processo. Em todas as condições de secagem, o valor mais elevado do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi superior a 0,98, indicando, de acordo com Madamba et al. (1996), uma representação satisfatória do processo de secagem. Com relação à distribuição de resíduos, esse modelo foi aleatório quando ajustado aos dados de secagem a 30, 40 e 50 °C, indicando melhores ajustes aos

dados experimentais. Verifica-se, ainda, que o modelo Midilli também se ajustou satisfatoriamente aos dados de secagem a 50 °C e 60 °C, e o de Aproximação da Difusão também se ajustou satisfatoriamente aos dados de secagem a 30 °C.

Tabela 2. Erro médio estimado (SE, decimal), erro médio relativo (P, %), coeficiente de determinação ( $R^2$ , %) e tendência de distribuição dos resíduos (A=aleatória; T=tendenciosa), durante a secagem do crambe nas diversas condições de temperatura

Modelos	SE	P	$R^2$	Distribuição	SE	P	$R^2$	Distribuição
	(decimal)	(%)		dos	(decimal)	(%)		dos
	30 °C				40 °C			
				Resíduos				Resíduos
Wang e Singh	0,003	0,36	99,99	A	0,008	1,17	99,92	A
Verma	0,149	23,64	78,47	T	0,076	13,64	9489	T
Thompson	0,013	2,02	99,83	T	0,025	4,23	99,40	T
Page	0,005	0,72	99,97	T	0,010	1,44	99,90	T
Newton	0,013	2,02	99,84	T	0,024	4,23	99,40	T
Midilli	0,004	0,49	99,98	T	0,009	1,18	99,93	T
Logarítmico	0,004	0,64	99,98	T	0,009	1,21	99,92	T
Henderson e Pabis	0,011	1,67	99,88	A	0,020	3,28	9961	T
Henderson e Pabis Modificado	0,003	0,43	99,99	T	0,010	1,22	99,92	T
Exponencial de Dois Termos	0,013	2,02	99,84	T	0,025	4,23	99,40	T
Dois Termos	0,012	1,67	99,88	T	0,009	1,20	99,92	T
Aproximação da Difusão	0,003	0,44	99,98	A	0,009	1,22	99,92	A
	50 °C				60 °C			
Wang e Singh	0,006	0,80	99,96	A	0,016	2,30	99,76	T
Verma	0,189	28,42	65,05	T	0,240	39,68	95,96	T
Thompson	0,029	4,11	99,26	T	0,019	2,62	99,69	T
Page	0,006	0,71	99,97	T	0,018	2,78	99,72	T
Newton	0,027	4,11	99,26	T	0,018	2,62	99,69	T
Midilli	0,003	0,50	99,98	A	0,012	1,85	99,84	T
Logarítmico	0,006	0,75	99,97	A	0,018	2,51	99,73	T
Henderson e Pabis	0,025	3,12	99,54	T	0,020	2,67	99,72	T
Henderson e Pabis Modificado	0,005	0,60	99,97	T	0,018	2,42	99,74	T
Exponencial de Dois Termos	0,005	0,67	99,97	T	0,019	2,62	99,69	T
Dois Termos	0,005	0,60	99,98	T	0,017	2,67	99,72	T
Aproximação da Difusão	0,038	4,11	99,26	T	0,025	2,71	9969	T
	70 °C							
Wang e Singh	0,025	3,63	99,57	T				
Verma	0,029	3,05	99,55	T				
Thompson	0,033	5,14	99,26	T				
Page	0,033	5,15	99,28	T				
Newton	0,030	5,15	99,26	T				
Midilli	0,012	2,16	99,87	T				
Logarítmico	0,035	4,92	99,36	T				
Henderson e Pabis	0,042	5,18	99,30	T				
Henderson e Pabis Modificado	0,007	0,71	99,97	A				
Exponencial de Dois Termos	0,033	5,13	99,27	T				
Dois Termos	0,022	2,58	99,68	T				
Aproximação da Difusão	0,070	4,70	99,37	T				

Entre os modelos que apresentaram melhor ajuste aos dados experimentais, o modelo Wang e Singh foi selecionado por se ajustar adequadamente aos dados nas diferentes condições de secagem do crambe, conforme ilustrado na Figura 2. Doymaz (2004) observou que os modelos Exponencial de dois termos e o de Wang e Singh foram os que melhor representaram os dados experimentais da secagem de ameixa.

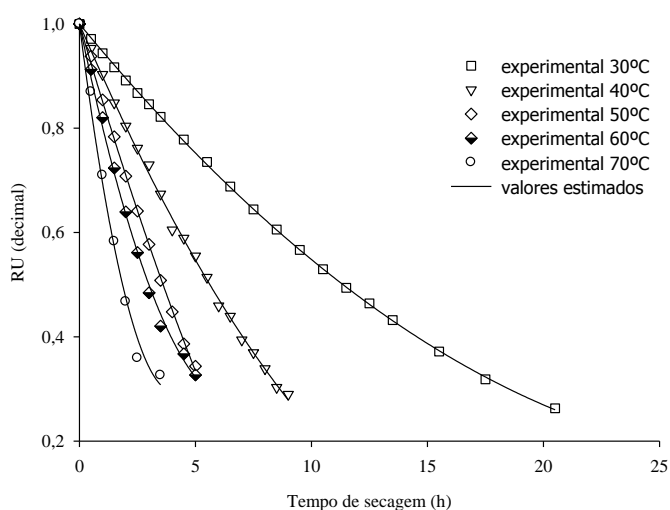


Figura 2. Valores da cinética de secagem das sementes de *Crambe abyssinica*, experimentais e estimados pelo modelo de Wang Singh, para diversas condições de secagem

Na Tabela 3 são apresentados os coeficientes do modelo de Wang Singh ajustados aos dados experimentais da cinética de secagem do crambe nas diferentes condições de temperatura.

Tabela 3. Coeficientes do modelo de Wang Singh ajustados para a secagem do crambe em diferentes condições de temperatura e umidade relativa do ar com as respectivas equações

Coeficientes	Temperatura (°C)					Equação
	30	40	50	60	70	
a	-0,05385	-0,10362	-0,15321	-0,21305	-0,34937	$a = -0,0001 \cdot T^2 + 0,0061 \cdot T - 0,1256$
b	0,00087	0,00261	0,00402	0,01580	0,04332	$b = 0,00004 \cdot T^2 - 0,0034 \cdot T + 0,066$

Analisando os resultados apresentados na Tabela 3, nota-se que as magnitudes dos coeficientes “a” e “b” para o modelo de Wang Singh variam quadraticamente com a elevação da temperatura do ar de secagem. Desta forma, a cinética de secagem do

crambe pode ser estimada, para a faixa de temperatura estudada, utilizando a seguinte expressão:

$$RU = 1 + (-0,0001 \cdot T^2 + 0,0061 \cdot T - 0,1256) \cdot t + (0,00004 \cdot T^2 - 0,0034 \cdot T + 0,066) \cdot t^2 \quad (20)$$

em que:

T - temperatura de secagem, (°C)

t - tempo de secagem, (h)

Encontram-se, na Figura 3, os dados experimentais e calculados de razão de umidade (RU), empregando o modelo de Wang Singh com os parâmetros estimados por meio da Eq. 20.

A Figura 3 possibilita verificar o ajuste deste modelo na descrição da secagem do crambe. Observa-se uma superestimação da razão de umidade para a maioria dos valores experimentais. Entretanto, com a redução dos valores da razão de umidade, ocorre uma maior discrepância entre os dados experimentais e estimados pelo modelo.

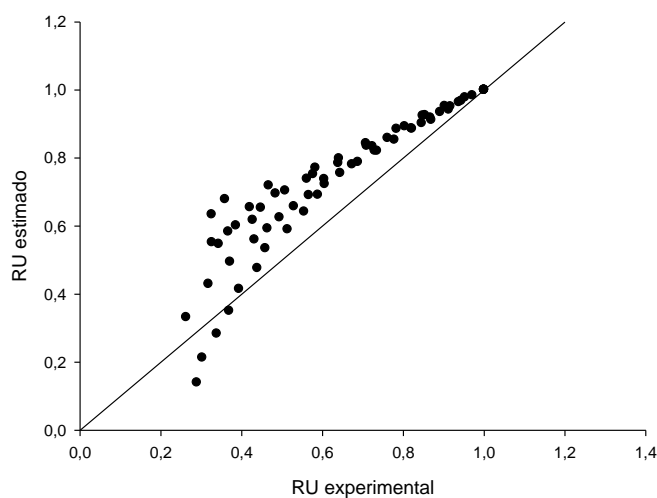


Figura 3. Valores experimentais e estimados de razão de umidade obtidos pelo modelo de Wang Singh em função da temperatura de secagem do crambe

Na Figura 4, estão apresentados os valores do coeficiente de difusão efetivo para os frutos de *Crambe abyssinica* durante as diferentes condições de secagens. Verifica-se que, durante a secagem do crambe, o coeficiente de difusão efetivo aumenta significativamente ( $P < 0,05$ ) com a elevação da temperatura, apresentando valores de  $0,88 \times 10^{-11}$ ;  $1,99 \times 10^{-11}$ ;  $2,90 \times 10^{-11}$ ;  $3,48 \times 10^{-11}$ ;  $5,85 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ , para as temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70 °C, respectivamente.

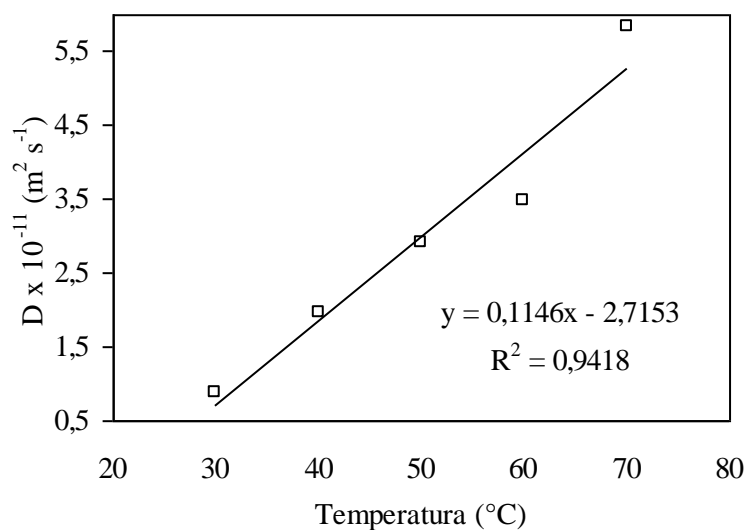


Figura 4. Valores médios do coeficiente de difusão ( $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ) obtidos para a secagem do *Crambe abyssynica* nas temperaturas de 30, 40, 50, 60 e 70°C

Goneli (2008), estudando a secagem de sementes de mamona, encontrou magnitudes de coeficientes de difusão efetivo entre  $0,5117 \times 10^{-10}$  e  $1,5643 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  para faixa de temperatura de 25 a 55 °C. Almeida et al. (2009) verificaram que, durante a secagem do feijão adzuki, os coeficientes de difusão efetivo apresentaram magnitudes entre  $0,51 \times 10^{-10}$  e  $2,23 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  para a faixa de temperatura de 30 a 70 °C. O mesmo ocorreu para o feijão vermelho, que apresentou valores entre  $2,1 \times 10^{-10}$  a  $10,4 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  para temperaturas de secagem entre 25 e 55 °C (Resende et al., 2007). Babalis & Belessiotis (2004) relataram magnitudes de  $8,40 \times 10^{-10}$  a  $1,13 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  para figo quando aumentaram a temperatura de 55 para 85 °C. O mesmo ocorreu com Sharma & Prasad (2004), com o aumento da temperatura de secagem de alho de 40 para 70 °C, que obtiveram magnitudes de  $1,593 \times 10^{-10}$  e  $9,7 \times 10^{-10}$ . Sacilik (2007) encontrou magnitudes de  $8,53 \times 10^{-11}$  a  $17,52 \times 10^{-11} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  para o coeficiente de difusão das sementes de abóbora durante a secagem nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C.

Os valores do coeficiente de difusão efetivo aumentaram linearmente, corroborando os resultados relatados por Resende et al. (2007), e sua dependência com relação à temperatura do ar de secagem foi descrita pela equação de Arrhenius, conforme a Figura 5.

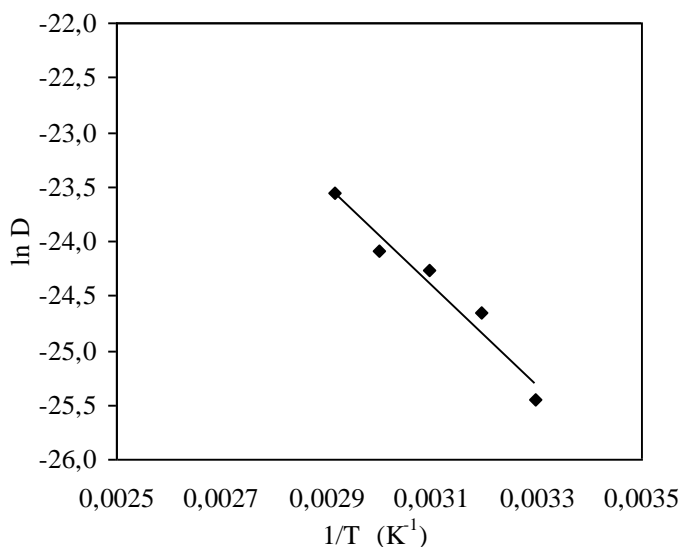


Figura 5. Representação de Arrhenius para o coeficiente de difusão, em função da temperatura do ar de secagem, obtido durante a secagem do *Crambe abyssynica*

A inclinação da curva da representação de Arrhenius fornece a relação  $E_a/R$ , enquanto sua interseção com o eixo das ordenadas indica o valor de  $D_0$ . Na Eq. 21, estão apresentados os coeficientes da expressão de Arrhenius ajustados para o coeficiente de difusão efetivo do crambe.

$$D = 3,45 \cdot 10^{-5} \cdot \exp\left(\frac{37.068,26}{R \cdot T_a}\right) \quad 21)$$

Conforme observado na Eq. 21, a energia de ativação para a difusão líquida no processo de secagem do crambe foi de  $37,07 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Nos processos de secagem, quanto menor a energia de ativação maior será a difusividade de água no produto. Zogzas et al. (1996) ressaltam que a energia de ativação para produtos agrícolas varia entre  $12,7$  a  $110 \text{ kJ mol}^{-1}$ . A energia de ativação encontrada neste trabalho foi maior que a encontrada na mamona de  $15,25 \text{ kJ mol}^{-1}$  durante a secagem com uma faixa de temperatura de  $25$  a  $55 \text{ °C}$  (Goneli, 2008) e do feijão adzuki de  $31,16 \text{ kJ mol}^{-1}$  para a temperatura de  $30$  a  $70 \text{ °C}$  (Almeida et al., 2009). Goneli et al. (2007), avaliando a secagem de trigo nas temperaturas entre  $25$  e  $55 \text{ °C}$ , verificaram que o produto apresentou uma energia de ativação para a difusão líquida de  $42,0 \text{ kJ mol}^{-1}$ . A energia de ativação é uma barreira que deve ser ultrapassada para que o processo de difusão possa ser desencadeado no produto (Kashaninejad et al., 2007). Segundo Kayacier &

Singh (2004), a energia de ativação diminui com a elevação do teor de água inicial do produto durante o processo de secagem.

## CONCLUSÕES

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

1. Com o aumento da temperatura do ar, ocorre redução no tempo de secagem dos frutos de crambe.
2. Entre os modelos analisados para representar a secagem dos frutos de crambe, o modelo de Wang e Singh foi o que melhor se ajustou aos dados nas diferentes condições de secagem.
3. O coeficiente de difusão efetivo aumenta com a elevação da temperatura durante a secagem do crambe.
4. A relação entre o coeficiente de difusão efetivo e as temperaturas de secagem pode ser descrita pela equação de Arrhenius, com uma energia de ativação de  $37,07 \text{ kJ mol}^{-1}$  para a difusão líquida no processo de secagem dos frutos de crambe.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pela concessão de bolsa ao primeiro autor e pelo apoio financeiro indispensável na execução do presente trabalho.

## LITERATURA CITADA

Akpınar, E. K.; Bicer, Y.; Yıldız, C. Thin layer drying of red pepper. *Journal of Food Engineering*. v.59, n.01, p.99-104, 2003.

Almeida, D. P.; Resende, O.; Costa, L. M.; Mendes, U. C.; Sales, J. F. Cinética de secagem do feijão adzuki (*Vigna angularis*). *Global Science and Technology*. v.02, n.01, p.72 - 83. 2009.

Afonso Júnior, P. C & Corrêa, P. C. Comparação de modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem em camada fina de sementes de feijão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.3, n.3, p.349-353, 1999.

Babalis, S. J.; Belessiotis, V. G. Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. *Journal of Food Engineering*. Davis, v.65, n.3, p.449-458, 2004.

Brasil, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de defesa Agropecuária. Regras para análise de sementes. 395p. 2009.

Brooker, D. B.; Bakker-Arkema, F. W.; Hall, C. W. Drying and storage of grains and oilseeds. Westport: The AVI Publishing Company. 450p. 1992.

Doymaz, I. Effect of dipping treatment on air drying of plums, *Journal of Food Engineering*. v.64, n.04, p.465-470, 2004.

Ertekin, C.; Yaldiz, O. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *Journal of Food Engineering*. v.63, n.3, p.349-359, 2004.

Goneli, A. L.; Corrêa, P. C.; Resende, O.; Reis Neto, S. A. Estudo da difusão de umidade em grãos de trigo durante a secagem. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. v.27, n.1, p.135-140. 2007.

Golz, T. Crambe. *Alternative Agriculture Series*. n.4, jan. 1993. Disponível em: <http://www.ag.ndsu.edu/pubs/alt-ag/crambe.htm>. Acesso em: 2 jul. 2008.

Goneli, A. L. D. Variação das propriedades físico-mecânicas e da qualidade de mamona (*Ricinus communis* L.) durante a secagem e o armazenamento. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 186p. 2008. Tese Doutorado.

Kashaninejad, M.; Mortazavi, A.; Safekordi, A.; Tabil, L. G. Thin-layer during characteristics and modeling of pistachio nuts. *Journal of Food Engineering*. v.78, n.01, p.98-108, 2007.



Kayacier, A.; Singh, R. K. Application of effective diffusivity approach for the moisture content prediction of tortilla chips during baking. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*. v.37, n.02, p.275-281, 2004.

Lahsasni, S.; Kouhila, M.; Mahrouz, M.; Jaouhari, J. T. Drying kinetics of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*). *Journal of Food Engineering*. v.61, n.02, p.173-179, 2004.

Madamba, P. S.; Driscoll, R. H.; Buckle, K. A. Thin-layer drying characteristics of garlic slices. *Journal of Food Engineering*. v.29, n.01, p.75-97, 1996.

Martinazzo, A. P.; Corrêa, P. C.; Melo, E. C.; Barbosa, F. F. Difusividade efetiva em folhas de *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf submetidas à secagem com diferentes comprimentos de corte e temperaturas do ar. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*. v.09, n.01, p.68-72, 2007.

Mohapatra, D.; Rao, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. *Journal of Food Engineering*. v.66, n.4, p.513-518, 2005.

Moshenin, N. N. *Physical properties of plant and animal materials*. New York: Gordon and Breach Publishers. 841p. 1986.

Oplinger, E. S.; Oelke, E. A.; Kaminski, A. R.; Putnam, D. H.; Teynor, T. M.; Doll, J. D.; Kelling, K. A.; Durgan, B. R.; Noetzel, D. M. Crambe. *Alternative Field Crop Manual*, 2000. Disponível em: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/crambe.html>. Acesso em: 2 jul. 2008.

Oliveira, R. A.; Oliveira, W. P.; Park, K. J. Determinação da difusividade efetiva de raiz de chicória. *Engenharia Agrícola*. v.26, n.01, p.181-189, 2006.

Peske, S. T.; Villela, F. Secagem de sementes. In: Peske, S. T.; Rosenthal, M.; Rota, G. R. M. *Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos*. Editora e Gráfica Universitária (UFPEL), p.283-322, 2003.

Resende, O.; Corrêa, P. C.; Jaren, C.; Moure, A. J. Bean moisture diffusivity and drying kinetics: a comparison of the liquid diffusion model when taking into account and neglecting grain shrinkage. *Spanish Journal of Agricultural Research*. v.05, n.01, p.51-58, 2007.

Resende, O.; Corrêa, P. C.; Goneli, A. L. D.; Botelho, F. M.; Rodrigues, S. Modelagem matemática do processo de secagem de duas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*. v.10, n.01, p.17-26, 2008.

Resende, O.; Arcanjo, R. V.; Siqueira, V. C.; Rodrigues, S. Modelagem matemática para a secagem de clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiro de concreto. *Acta Scientiarum*. v.31, n.02, p.189-196, 2009.

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 Amazônica*. v.40, n.02, p.247-256, 2010.

Rocha, D. C.; Santos, B. M.; Scheid, C. M.; E Calçada, L. A. Determinação dos coeficientes de difusão e convectivo na Secagem de sementes de *Nasturtium officinale* (agrião). VI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 2005.

Sacilik, K. Effect of drying methods on thinlayer drying characteristics of hull-less seed pumpkin (*Cucurbita pepo* L.). *Journal of Food Engineering*, v.79, p.23-30, 2007.

Sharma, G. P.; Prasad, S. Effective moisture diffusivity of garlic cloves under going microwave-convective drying. *Journal of Food Engineering*, v.65, n.04, p.609-617, 2004.

Zogzas, N. P.; Maroulis, Z. B.; Marinos-Kouris, D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. *Drying Technology*, v.14, n.10, p.2225-2253, 1996.

## CAPÍTULO 3

### QUALIDADE DOS FRUTOS DE CRAMBE

#### QUALIDADE DOS FRUTOS DE CRAMBE DURANTE O ARMAZENAMENTO<sup>3</sup>

RESUMO – Em sementes armazenadas sob condições adequadas, a velocidade do processo de deterioração pode ser diminuída, permitindo a conservação da sua viabilidade por período mais prolongado do que o obtido em condições naturais. Objetivou-se no presente trabalho avaliar a qualidade dos frutos de *Crambe abyssinica* armazenados em diferentes condições ambientais. Foram utilizadas frutos de crambe com teor de água de 6% b.u. Os testes de condutividade elétrica, absorção de água, porcentagem de germinação e índice de velocidade de germinação (IVG) foram realizados no início do experimento (0 meses) e a cada 2 meses, durante 1 ano. O armazenamento foi feito em três condições distintas: condição ambiente ( $26\pm 3^{\circ}\text{C}$ ;  $55\pm 12\%$  Umidade Relativa - UR), câmara refrigerada do tipo B.O.D. ( $5\pm 1^{\circ}\text{C}$ ;  $79\pm 5\%$  UR) e câmara climatizada com aparelho de ar condicionado ( $18\pm 1^{\circ}\text{C}$ ;  $53\pm 7\%$  UR). A câmara climatizada ( $18\pm 1^{\circ}\text{C}$ ;  $53\pm 7\%$  UR) conserva melhor a qualidade dos frutos de crambe em relação à condição ambiente ( $26\pm 3^{\circ}\text{C}$ ;  $55\pm 12\%$  UR) e à câmara refrigerada do tipo B.O.D. ( $5\pm 1^{\circ}\text{C}$ ;  $79\pm 5\%$  UR). O armazenamento dos frutos por doze meses nos três ambientes analisados promove a quebra de dormência das sementes.

---

<sup>3</sup> Artigo submetido em 18/02/2011. Revista Brasileira de Sementes. Londrina - PR.

Termos para indexação: Qualidade pós-colheita, *Crambe abyssinica*, condições de armazenamento

## CRAMBE FRUIT QUALITY DURING STORAGE

**ABSTRACT** – In seeds stored under proper conditions, the speed of the deterioration process can be reduced, allowing the preservation of its viability for a longer period than that obtained under natural conditions. This work aimed to evaluate the quality of *Crambe abyssinica* fruits stored under different environmental conditions. Crambe fruits were used with a water content of wb 6%. Tests of electrical conductivity, water absorption, germination percentage, and germination speed index (GSI) were performed at the experiment beginning (0 months) and every 2 months for 1 year. The storage was done under three different conditions, ambient condition ( $26\pm 3^{\circ}\text{C}$ ,  $55\pm 12\%$  Relative Humidity - RH), refrigerated chamber of BOD type ( $5\pm 1^{\circ}\text{C}$ ,  $79\pm 5\%$  RH), and climatic chamber with air conditioning ( $18\pm 1^{\circ}\text{C}$ ,  $53\pm 7\%$  RH). The climatic chamber ( $18\pm 1^{\circ}\text{C}$ ,  $53\pm 7\%$  RH) retains best the crambe fruit quality in relation to environmental conditions ( $26\pm 3^{\circ}\text{C}$ ,  $55\pm 12\%$  RH) and refrigerated chamber of BOD type ( $5\pm 1^{\circ}\text{C}$ ,  $79\pm 5\%$  RH). Fruits storage for twelve months in the three examined environments promotes the breaking of seed dormancy.

Index terms: Postharvest quality, *Crambe abyssinica*, storage conditions.

## INTRODUÇÃO

As diretrizes básicas do programa Brasileiro de Produção de Biodiesel têm por objetivo destacar o Brasil na produção de combustíveis renováveis, uma vez que o país possui vantagens comparativas em relação aos demais, como disponibilidade de terras para a expansão da agricultura, água e energia suficientes para praticar uma agricultura de produção de energia de forma competitiva (Benedetti et al., 2006).

Várias oleaginosas estão sendo testadas ou já usadas para a produção de biodiesel, como soja, mamona, dendê, girassol, amendoim, crambe, nabo forrageiro, colza e babaçu, entre outras (Mello et al., 2007). O crambe (*Crambe abyssinica*) é uma

planta da família das brassicaceae que surge como alternativa para a produção de matéria-prima visando à obtenção de biocombustível. Esta cultura apresenta como vantagens uma boa produção, características de tolerância à seca e à geada e, ainda, precocidade no ciclo, com duração de aproximadamente 90 dias. Devido a estas características, o crambe pode ser cultivado na safra de inverno, com a semeadura realizada logo depois da colheita da soja, sendo uma alternativa para o plantio da safrinha. Contudo, o cultivo dessa oleaginosa em solo brasileiro somente terá sucesso se os patamares de produtividade forem satisfatórios, e neste caso, o uso de sementes de qualidade superior certamente contribuirá decisivamente para que as metas de produção sejam alcançadas (Neves et al., 2007). Nesse contexto, o armazenamento adequado das sementes se faz necessário para garantir a qualidade e o bom desempenho da cultura no campo.

De acordo com Toledo et al. (2009), a capacidade de as sementes manterem sua qualidade durante o período de armazenamento é influenciada por diversos fatores, entre eles o teor de água com que a semente foi armazenada, embalagens de conservação, temperatura e umidade relativa do ar do ambiente de armazenamento. Segundo Schmidt (2000), a perda de viabilidade das sementes é decorrente do processo de deterioração avançado, que tem início logo após a maturidade fisiológica, pois pequenos danos são reversíveis e possíveis de serem reparados pelas sementes.

Em sementes armazenadas sob condições adequadas, a velocidade do processo de deterioração pode diminuir, permitindo a conservação da sua viabilidade por período mais longo do que o obtido em condições naturais de armazenamento (Figliolia e Piña-Rodrigues, 1995). A umidade relativa do ar e a temperatura do ambiente de armazenamento são os principais fatores que afetam a qualidade das sementes durante o armazenamento. Condições de elevada umidade relativa do ar podem proporcionar o reinício das atividades metabólicas do embrião, enquanto temperaturas elevadas ocasionam aumento da atividade respiratória e esgotamento das substâncias de reserva acumuladas (Aguiar, 1995). Tais condições podem favorecer a ação de fungos e insetos, que aceleram a deterioração das sementes (Carvalho e Nakagawa, 2000).

A conservação da qualidade fisiológica das sementes está também relacionada ao tipo de embalagem utilizada, conforme a maior ou menor facilidade que apresentam para as trocas de vapor d'água entre as sementes e a atmosfera do ambiente em que estão armazenadas (Marcos Filho, 2005). A qualidade de sementes não pode ser melhorada durante o armazenamento, mas pode ser preservada quando as condições de

conservação são favoráveis. Segundo Pádua e Vieira (2001), lotes de sementes com porcentagens de germinação semelhantes, mas com diferentes níveis de vigor, podem apresentar comportamentos diferenciados em relação à deterioração, dependendo das condições de armazenamento.

A deterioração é um dos grandes problemas do armazenamento de sementes, principalmente das oleagenosas (Braccini et al., 2001). De acordo com Marcos Filho (2005), para a melhor conservação das sementes ortodoxas, o ambiente com umidade relativa e temperatura mais baixas tem se mostrado adequado, já que essas condições permitem manutenção de baixo nível de atividade de reações químicas e preservação do poder germinativo e do vigor das sementes. Os fatores que afetam a germinação das sementes são: genótipo das plantas, condições climáticas predominantes durante a maturação, grau de injúrias mecânicas, condições ambientais de armazenamento, ataques de microrganismos e insetos, densidade e tamanho das sementes, idade das sementes, disponibilidade de água e temperatura durante a embebição (Carvalho e Nakagawa, 2000).

Para avaliação da danificação mecânica ocorrida nas sementes, podem ser utilizadas as análises de condutividade elétrica e de absorção de água. Segundo Vieira et al., (2002), o teste de condutividade elétrica avalia a qualidade das sementes indiretamente por meio da determinação da quantidade de lixiviados na solução de embebição das sementes.

A reidratação de materiais é um processo complexo que tem como objetivo reconstituir as características originais do produto, quando submetido ao contato com uma fase líquida (Bilbao-Sáinz et al., 2005). A absorção de água depende da diferença entre o teor de água de saturação e o teor de água em um determinado tempo, chamada força motriz (Resio et al., 2005). Durante a embebição, a água é difundida para o interior da semente, promovendo o aumento do seu volume, sendo influenciada, principalmente, pela temperatura da solução de embebição (Bayram et al., 2004). Assim, a absorção de água é um bom parâmetro para análise da danificação mecânica ocorrida, pelo fato de seus valores estarem ligados aos danos causados no tegumento e na estrutura dos grãos, principalmente em função do armazenamento.

O teste de germinação é o principal parâmetro utilizado para a avaliação da qualidade fisiológica das sementes e permite conhecer o potencial de germinação de um lote em condições favoráveis. Os resultados deste teste são utilizados para determinar a taxa de semeadura para a comparação do valor de lotes e para a comercialização por

possibilitarem a obtenção de resultados comparáveis entre laboratórios (Carvalho e Nakagawa, 2000).

Na literatura, existe carência de informações a respeito das alterações que podem ocorrer nas características das sementes de crambe durante o armazenamento. Portanto, torna-se relevante a execução de trabalhos referentes ao assunto, podendo assim gerar informações teóricas e práticas para melhorar a conservação pós-colheita do produto. Assim, neste trabalho, visou-se a verificar o efeito do tempo e das condições de armazenamento na qualidade das sementes do crambe.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para este trabalho, foram utilizados frutos de crambe (*Crambe abyssinica*), que é uma síliqua, inicialmente verde, mas que se torna amarelado com a maturidade, cada fruto contém uma única semente esférica, de cor verde ou marrom esverdeado. Os frutos da cultivar FMS Brilhante, desenvolvida pela Fundação MS, foram produzidos na safra de 2009 no Campo Experimental do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano - *campus* Rio Verde (IFGoiano-*campus* Rio Verde), localizado em Rio Verde-GO a 17° 47' 53'' de latitude (S) e 51° 55' 53'' de longitude (W). O experimento foi desenvolvido nos Laboratórios de Pós-colheita de Produtos Vegetais e Laboratório de Sementes (IF Goiano-*Campus* Rio Verde). A colheita dos frutos de crambe foi feita manualmente quando se verificou que o teor de água se situava em 6% b.u., determinado por gravimetria, utilizando estufa a 105±1 °C, durante 24 horas, em três repetições (Brasil, 2009). Os frutos foram acondicionados em potes de vidro cobertos com tecido tipo voal no dia 11 de agosto de 2009 ao dia 11 de agosto de 2010, tendo 400g dos frutos em cada recipiente, em três condições distintas: condição ambiente (26±3 °C; 55±12% Umidade Relativa - UR), câmara refrigerada do tipo B.O.D. (5±1 °C; 79±5% UR) e câmara climatizada com aparelho de ar condicionado (18±1 °C; 53±7% UR). Durante o armazenamento, a UR e a temperatura de todos os ambientes foram registradas por um datalogger digital.

As amostras foram avaliadas aos 0, 2, 4, 6, 8, 10 e 12 meses, em 3 repetições, quanto à absorção de água, testes de condutividade elétrica, porcentagem de germinação e índice de velocidade de germinação (IVG).

Para a determinação da absorção de água, as amostras foram submetidas à hidratação em água destilada durante um período de 12 horas. O teste de absorção de

água foi feito em câmara do tipo B.O.D., com a temperatura regulada para  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ . Foram utilizados copos plásticos (capacidade de 100 mL) contendo 75 mL de água destilada juntamente com 15 g da amostra, perfazendo uma relação em massa de 5:1. As amostras foram levemente agitadas com um bastão para que todas fossem completamente submersas. Depois do período de hidratação, as amostras foram retiradas dos copos e colocadas sobre papel filtro para escoamento da água superficial durante dois minutos, em seguida, pesadas com balança de precisão de duas casas decimais (0,01g). O teor de água depois da absorção foi obtido por meio da seguinte equação:

$$U^* = \frac{M_e - M_s}{M_s} \quad (1)$$

em que:

$U^*$ : teor de água do produto, decimal b.s.

$M_e$ : massa depois da embebição, kg

$M_s$ : massa da matéria seca do produto, kg

O teste de condutividade elétrica (CE) foi realizado com o crambe segundo metodologia descrita por Vieira e Krzyzanowski (1999). Foram utilizadas 4 subamostras de 50 frutos, de cada tratamento, pesadas com precisão de duas casas decimais (0,01g). As amostras foram colocadas para embeber em copos plásticos com 75 mL de água deionizada e mantidas em câmara do tipo B.O.D., com temperatura controlada a  $25^\circ\text{C}$ , durante 24 horas. As soluções contendo os frutos foram levemente agitadas para uniformização dos lixiviados, e imediatamente procedeu-se à leitura em condutivímetro digital portátil modelo CD-850 “INSTRUTHERM”, sendo os resultados divididos pela massa das 50 frutos e expressos em  $\mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$  de sementes.

O teste de germinação foi conduzido com quatro subamostras de 30 frutos de cada tratamento, acondicionadas em caixas tipo “gerbox” sobre papel mata-borrão umedecido com água destilada, equivalente a 2,5 vezes a massa do substrato seco, visando ao umedecimento adequado e, conseqüentemente, à uniformização do teste. Em seguida, foram mantidas em germinador tipo “Mangelsdorf” regulado a uma temperatura constante de  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ . As avaliações foram feitas a cada dois dias a partir do 2º dia após a semeadura, até completar 32 dias, segundo os critérios estabelecidos nas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009). Foram computados a porcentagem média de germinação e o índice de velocidade de germinação ( $IVG = n_1.d_1^{-1} + n_2.d_2^{-1} +$

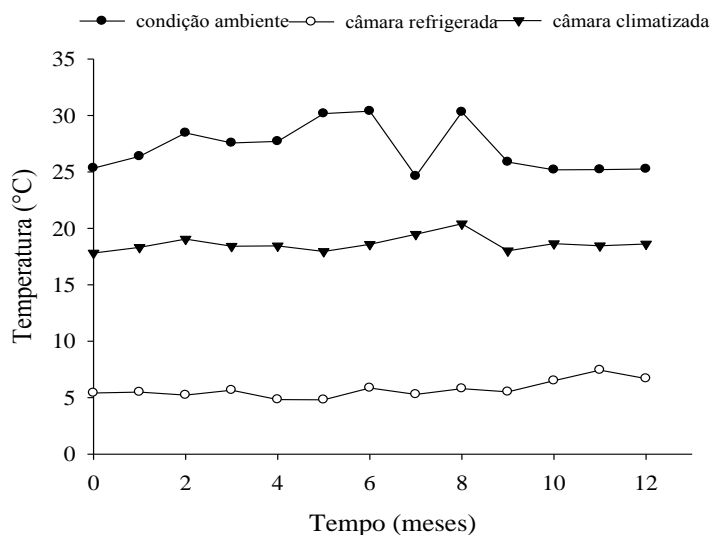


$n_3.d_3^{-1} \dots n.d_n^{-1}$ ; sendo  $n_1$ = sementes germinadas no primeiro dia da contagem;  $n_2$ = sementes germinadas no segundo dia da contagem;  $n_3$ = sementes germinadas no terceiro dia da contagem;  $n_n$ = sementes germinadas no enésimo dia da contagem;  $d_1$ = primeiro dia,  $d_2$ = segundo dia;  $d_3$ = terceiro dia,  $d_n$ = enésimo dia).

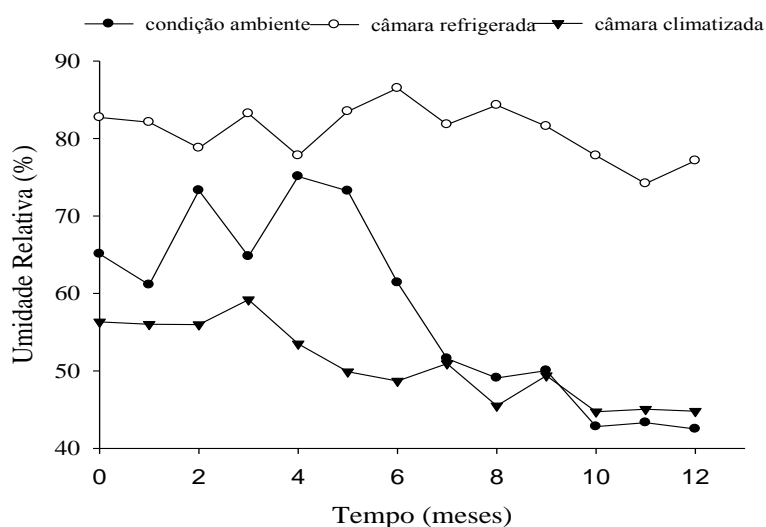
O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado, segundo esquema de parcela subdividida, sendo três condições de armazenamento (condição ambiente, câmara refrigerada e câmara climatizada) nas parcelas e os meses de avaliação nas subparcelas, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 1 e 2 estão apresentados os valores médios mensais da temperatura e da umidade relativa do ar nos três ambientes de armazenamento dos frutos de crambe. Verifica-se que a câmara refrigerada promoveu maior umidade relativa, apresentando menores oscilações ao longo do tempo. A condição ambiente apresentou maiores alterações nas condições do ar em virtude das mudanças climáticas decorrentes das estações do ano. A câmara climatizada apresentou menores valores de umidade relativa devido ao sistema de resfriamento retirar vapor de água desta câmara.



**FIGURA 1.** Temperatura média ao longo do armazenamento em três condições distintas: condição ambiente ( $26 \pm 3$  °C), câmara refrigerada ( $5 \pm 1$  °C) e câmara climatizada ( $18 \pm 1$  °C).



**FIGURA 2.** Umidade relativa média ao longo do armazenamento em três condições distintas: condição ambiente ( $55\pm 12\%$  Umidade Relativa - UR), câmara refrigerada ( $79\pm 5\%$  UR) e câmara climatizada ( $53\pm 7\%$  UR).

Na Tabela 1, verifica-se que todas as variáveis analisadas foram significativas, exceção do teor de água ao longo do tempo (meses) e a interação entre o ambiente e os meses de armazenamento.

**TABELA 1.** Resumo da análise de variância para teor e absorção de água, condutividade elétrica, porcentagem de germinação e índice de velocidade de germinação (IVG), durante o armazenamento dos frutos de crambe em diferentes ambientes por 12 meses.

Variáveis analisadas	Fonte de variação	Quadrados médios	CV (%)
Teor de água	Ambiente	0,002924 <sup>**</sup>	9,94
	Meses	0,000315 <sup>NS</sup>	27,78
	Ambiente x Meses	0,000669 <sup>NS</sup>	
Absorção de água	Ambiente	0,010748 <sup>*</sup>	3,80
	Meses	0,008884 <sup>**</sup>	4,57
	Ambiente x Meses	0,007248 <sup>**</sup>	
Condutividade elétrica	Ambiente	7884,83 <sup>*</sup>	7,00
	Meses	13759,96 <sup>**</sup>	7,55
	Ambiente x Meses	2166,36 <sup>**</sup>	
Porcentagem de germinação	Ambiente	5021,90 <sup>**</sup>	14,55
	Meses	5885,28 <sup>**</sup>	10,65
	Ambiente x Meses	510,27 <sup>**</sup>	
IVG	Ambiente	67,0235 <sup>**</sup>	15,81
	Meses	76,8321 <sup>**</sup>	15,33
	Ambiente x Meses	5,7381 <sup>**</sup>	

<sup>\*\*</sup>Significativo a 1% pelo teste F. <sup>\*</sup>Significativo a 5% pelo teste F. <sup>NS</sup> Não significativo.

Os frutos armazenados na câmara refrigerada apresentaram maior teor de água, enquanto aqueles armazenados na câmara climatizada não diferiram da condição ambiente quanto a estes teores (Tabela 2). Nas três condições de armazenamento, não foram identificadas diferenças significativas do teor de água ao longo do tempo. Este comportamento pode ser explicado pelo fato de a temperatura ser mais baixa no armazenamento em câmara refrigerada e a umidade relativa ser mais alta (Figuras 1 e 2). Desta forma, os frutos entraram em equilíbrio higroscópico com as condições de temperatura e umidade relativa dos ambientes do armazenamento. De acordo com Carvalho e Nakagawa (2000), mudanças na temperatura e umidade relativa do ar provocam constantes ajustes no teor de água das sementes armazenadas em embalagens permeáveis ao vapor de água.

**TABELA 2. Teor de água (% b.u.) dos frutos de crambe submetidos ao armazenamento em condição ambiente, câmara refrigerada e câmara climatizada durante 12 meses.**

Ambientes	Tempo de Armazenamento							Média
	(meses)							
	0	2	4	6	8	10	12	
Cond. Ambiente	6,00	7,00	8,63	6,33	7,00	5,00	4,98	6,42 a
Câm. Refrigerada	6,00	7,67	6,32	8,00	10,00	10,00	9,91	8,27 b
Câm. Climatizada	6,00	6,67	7,82	5,67	6,00	5,00	5,29	6,06 a
Média	6,00	7,11	7,59	6,67	7,67	6,67	6,73	

As médias seguidas das mesmas letras minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

A absorção de água pelos frutos foi semelhante nas três condições de armazenamento, com exceção do 4º mês de armazenamento, em que a câmara refrigerada foi menor que a condição ambiente e, no 10º mês, cuja absorção foi menor nos frutos acondicionados na câmara climatizada (Tabela 3). Possivelmente, estas alterações nos valores da absorção de água pelos frutos devem ter sido causadas pelas variações de temperatura e umidade relativas nos ambientes de armazenamento

Ao longo do tempo, a absorção de água praticamente não se alterou nas três condições de armazenamento, exceto para o 10º mês na câmara refrigerada, que

apresentou um valor mais elevado. Mesmo assim, ao final dos 12 meses de armazenamento, a absorção de água não apresentou diferença significativa em relação ao valor inicial para as três condições de armazenamento analisadas (Tabela 3). A entrada e a distribuição da água nas sementes, reguladas pelo potencial de água celular, ocorrem tanto por capilaridade como por difusão, no sentido do maior para o menor potencial hídrico. De acordo com Bewley e Black (1994), a quantidade de água absorvida depende da espécie, semente, variedade, ou cultivar, temperatura ambiente, composição química da semente, teor de água inicial, natureza do tegumento e quantidade de água disponível. Desta forma, a embebição tem sido entendida como um processo físico relacionado, principalmente, com as características de permeabilidade do envoltório e com as propriedades dos coloides constituintes das sementes (Bewley e Black, 1994; Carvalho e Nakagawa, 2000). Segundo Ullmann et al. (2010), a absorção de água é um bom parâmetro para análise da danificação mecânica ocorrida, pelo fato de seus valores estarem ligados aos danos causados no tegumento e na estrutura das sementes. Possivelmente a estrutura do fruto de crambe, por apresentar um pericarpo rígido e pouco permeável à água, pode ter influenciado os valores de absorção de água.

**TABELA 3. Absorção de água (decimal b.s) dos frutos de crambe armazenados em condição ambiente, câmara refrigerada e câmara climatizada por um período de um ano.**

Ambientes	Tempo de Armazenamento						
	(meses)						
	0	2	4	6	8	10	12
Cond. Ambiente	0,90 aA	0,99 aA	0,92 bA	0,90 aA	0,92 aA	0,95 aA	0,93 aA
Câm. Refrigerada	0,90 aAB	0,99 aBC	0,82 aA	0,89 aAB	0,88 aA	1,02 aC	0,88 aA
Câm. Climatizada	0,90 aAB	0,95 aB	0,90 abB	0,88 aAB	0,89 aAB	0,80 bA	0,89 aAB

As médias seguidas das mesmas letras minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

De uma maneira geral, os frutos de crambe armazenados na câmara refrigerada apresentaram menores valores de condutividade elétrica em relação àqueles mantidos nas demais condições de armazenamento, identificados estatisticamente somente no 6º mês de armazenamento, indicando que o armazenamento nesta condição proporcionou menor lixiviação de eletrólitos e, conseqüentemente, melhor conservação.

Os valores de condutividade elétrica não se alteraram ao longo do armazenamento na câmara refrigerada, enquanto tenderam a aumentar durante o armazenamento na câmara climatizada e na condição ambiente (Tabela 4). Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Nakagawa et al. (2004), que concluíram que, entre os ambientes testados, o ambiente de refrigerador e o de *freezer* são mais favoráveis à conservação de sementes de aveia preta comparativamente ao ambiente de câmara seca.

Segundo Vieira et al. (2002), o teste de condutividade elétrica baseia-se na avaliação indireta da qualidade fisiológica por meio da determinação da quantidade de lixiviados na solução de embebição das sementes. Os menores valores correspondentes à menor liberação de exsudatos indicam alto potencial fisiológico (maior vigor), revelando menor intensidade de desorganização dos sistemas de membranas das células. Marques et al. (2002) verificaram eficiência desse teste para diferenciar lotes de sementes de *Dalbergia nigra* (jacarandá-da-bahia), com alto grau de associação com o teste de germinação, e Santos e Paula (2005) consideraram o teste de condutividade elétrica promissor para diferenciar lotes de sementes de *Sebastiania commersoniana* (branquilha).

**TABELA 4. Condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ ) dos frutos de crambe submetidos ao armazenamento em condição ambiente, câmara refrigerada e câmara climatizada durante 12 meses.**

Ambientes	Tempo de Armazenamento						
	(meses)						
	0	2	4	6	8	10	12
Cond. Ambiente	367,7 aBC	315,9 aAB	291,9 aA	381,6 bBC	390,0 aC	435,2 aC	426,4 bC
Câm.Refrigerada	367,7 aAB	337,6 abAB	299,91 aA	322,8 aAB	388,9 aB	393,0 aB	356,6 aAB
Câm .Climatizada	367,7aAB	387,3 bBC	304,3 aA	443,1 cC	416,3 aBC	413,6 aBC	405,6 abBC

As médias seguidas, das mesmas letras minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Na Tabela 5, estão apresentados os valores de porcentagem de germinação das sementes de crambe durante o armazenamento por 12 meses, em três ambientes distintos. O potencial germinativo foi mais elevado nas sementes armazenadas em câmara climatizada para todos os meses de armazenamento, exceto para a amostra inicial.

Nota-se que as sementes de crambe apresentaram dormência no início do armazenamento. Faria (2010), estudando a qualidade fisiológica das sementes de crambe, concluiu que houve um baixo percentual de germinação, com valores de 15,5; 20,15; 24,65; 23,5 e 10,3% para as temperaturas de secagem de 30, 40, 50, 60 e 70 °C, respectivamente. Este mecanismo é comum nas sementes recém-colhidas de diversas espécies (Brasil, 2009). Assim, pode-se inferir que o ambiente climatizado foi melhor para a quebra da dormência das sementes de crambe. Costa et al. (2010) verificaram que a porcentagem média de sementes de crambe germinadas logo após a secagem nas temperaturas de 23, 30, 40, 50 e 60 e 70 °C foi de 6,5; 17,1; 4,4; 7,1; 3,5 e 4,6%, respectivamente, tendo o aumento da temperatura interferido negativamente na qualidade fisiológica das sementes. Estes pesquisadores também observaram os baixos valores da germinação e do IVG, indicando a dormência das sementes de crambe recém-colhidas.

Durante o armazenamento, a porcentagem de germinação aumentou nas sementes mantidas em câmara climatizada e em condição ambiente, enquanto na de câmara refrigerada, esse potencial aumentou até o segundo mês, a partir do qual os valores diminuíram e oscilaram (Tabela 5). Acredita-se que os menores valores de umidade relativa da câmara climatizada tenham favorecido a quebra de dormência nas sementes. Na condição ambiente, também houve quebra de dormência das sementes ao longo do tempo, porém em menor intensidade, possivelmente devido aos maiores valores da temperatura, que podem ter prejudicado a germinação. Ressalta-se que houve uma maior incidência de fungos nos frutos armazenados em câmara refrigerada, mesmo sendo tratados com fungicida Vitavax® Thiran 200 sc, conforme indicação comercial para o teste de germinação. Este fato se deve aos maiores valores da atividade de água destes frutos, superiores a 0,75, Figura 2, que apresentaram elevados teores de água ao longo do armazenamento.

O estudo de dormência em sementes de crambe se torna necessário ao se considerar que a capacidade germinativa aumenta com o tempo de armazenamento. Faria (2010), estudando a viabilidade de sementes recém-colhidas de crambe,

submetidas a diferentes condições de secagem e teores de água, observou um baixo percentual de germinação e ressaltou que as sementes de crambe têm algum tipo de dormência. Tunes et al. (2010) constataram que o tempo e as condições de armazenamento influenciaram na “quebra” da dormência de sementes de cevada armazenadas em câmara fria e seca e ou ambiente natural, após 6 meses de armazenamento, época apropriada para a semeadura. Cardoso et al. (2004), armazenando soja por oito meses em armazém com sistema de aeração a frio com umidade relativa entre 60 e 70% e temperatura entre 15 e 27 °C, verificaram uma suave redução na qualidade fisiológica das sementes de soja até os 90 dias de armazenamento, apresentando valores de germinação iguais ou superiores a 80%. Após este período, houve uma queda acentuada no poder germinativo das sementes.

Freitas et al. (2000) armazenaram sementes de algodoeiro da cultivar ITA-90 em ambiente sem controle de temperatura e de umidade relativa e verificaram que a porcentagem de germinação permaneceu acima do padrão para o comércio até nove meses de armazenamento. Esses resultados favoráveis foram atribuídos pelos autores ao alto vigor inicial e baixo teor de água das sementes, que reduziram a velocidade do processo deteriorativo. Essa relação entre vigor e potencial de armazenamento de sementes de algodoeiro também foi verificada por Pádua e Vieira (2001).

**TABELA 5. Germinação (%) das sementes de crambe armazenadas em condição ambiente, câmara refrigerada e câmara climatizada por um período de um ano.**

Ambientes	Tempo de Armazenamento						
	(meses)						
	0	2	4	6	8	10	12
Cond. Ambiente	7,50 aA	43,06 aB	72,78 bCD	68,61 bC	88,06 bD	78,89 bCD	79,17 bCD
Câm. Refrigerada	5,56 aA	73,06 bD	45,28 aB	52,50 aBC	63,33 aCD	51,94 aBC	44,17 aB
Câm. Climatizada	6,39 aA	79,17 bB	93,06 cBC	87,78 cBC	96,39 bC	95,00 cBC	94,44 cBC

As médias seguidas das mesmas letras minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Assim como ocorreu com a porcentagem de germinação, o índice de velocidade de germinação (IVG) foi mais elevado nas sementes armazenadas em câmara climatizada. Esse índice aumentou significativamente ao longo do tempo nas

sementes mantidas em câmara climatizada e em condição ambiente, destacando-se o armazenamento em câmara climatizada, cujos valores do IVG das sementes foram mais elevados (Tabela 6).

Santos e Paula (2005) mostraram que sementes de branquilo têm diminuídos a porcentagem e o índice de velocidade de germinação quando armazenadas por cinco meses em sacos de papel, indicando que, além do ambiente do armazenamento, a redução da germinação pode estar relacionada à embalagem utilizada.

**TABELA 6. Índice de velocidade de germinação (IVG) das sementes de crambe submetidas ao armazenamento em diferentes condições durante 12 meses.**

Ambientes	Tempo de Armazenamento						
	(meses)						
	0	2	4	6	8	10	12
Cond. Ambiente	0,46 aA	3,93 aB	7,88 bCD	6,67 bC	9,48 bD	8,81 bCD	7,84 bCD
Câm. Refrigerada	0,37 aA	6,30 bB	4,22 aB	4,26 aB	6,58 aB	5,23 aB	4,51 aB
Câm. Climatizada	0,35 aA	6,81 bB	9,54 bBCD	7,74 bBC	11,57 cD	9,80 bCD	10,78 cD

As médias seguidas das mesmas letras minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

## CONCLUSÕES

A câmara climatizada com aparelho de ar condicionado ( $18\pm 1$  °C;  $53\pm 7\%$  UR) conserva melhor a qualidade dos frutos de crambe em relação à condição ambiente ( $26\pm 3$  °C;  $55\pm 12\%$  UR) e à câmara refrigerada do tipo B.O.D. ( $5\pm 1$  °C;  $79\pm 5\%$  UR). O armazenamento dos frutos por doze meses nos três ambientes analisados promove a quebra de dormência das sementes.

## AGRADECIMENTOS

À Capes e ao CNPq, pelo apoio financeiro indispensável à execução do presente trabalho e pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor.



## REFERÊNCIAS

AGUIAR, I.B. Conservação de sementes. In: SILVA, A.; PIÑA-RODRIGUES, F.C.M.; FIGLIOLIA, M.B. (Coord.). **Manual técnico de sementes florestais**. São Paulo: Instituto Florestal, p.33-44. (Série Registros, n.14). 1995.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260877403001377>

BAYRAM, M.; ONER, M.D.; KAYA, A. Influence of soaking on the dimensions and colour of soybean for bulgur production. **Journal of Food Engineering**, v.61, n. 3, p.331-339. 2004.

BENEDETTI, O.; PLÁ, J.A.; RATHMANN, R.; PADULA, A.D. Uma proposta de modelo para avaliar a Viabilidade do biodiesel no Brasil. **Teoria e Evidência Econômica**, v.14, p.81-107, Ed. Especial 2006.

[http://www.upf.tche.br/cepeac/download/rev\\_esp\\_2006\\_art4.pdf](http://www.upf.tche.br/cepeac/download/rev_esp_2006_art4.pdf)

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. 2nd ed. New York: Plenum Press, 1994. 445p.

BILBAO-SÁINZ, C.; ANDRÉS, A.; FITO, P. Hydration kinetics of dried apple as affected by drying conditions. **Journal of Food Engineering**, v.68, n.03, p.369-376, 2005.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6T8J-4D2FKW42/2/0137ad75eb0d756f127ea94f7952364b>

BRACCINI, A.L.; BRACCINI, M. C.L.; SCAPIM, C.A. Mecanismos de deterioração das sementes: aspectos bioquímicos e fisiológicos. **Informativo ABRATES**, v.11, n.1, p.10-15, 2001.

[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=27604311&pid=S01006762200](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=27604311&pid=S01006762200)

[600010000600003&lng=en](#)

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

CARDOSO, P.C.; BAUDET, L.; PESKE, S.T.; LUCCA FILHO, O.A. Armazenamento em sistema a frio de sementes de soja tratadas com fungicida. **Revista brasileira de sementes**, v.26, n.1, p. 15 – 23, 2004. <http://www.scielo.br/pdf/rbs/v26n1/a03v26n1.pdf>

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal: Funep, 2000. 88p.

COSTA, L.M.; RESENDE, O.; GONÇALVES, D.N.; RODRIGUES, E.; ALES, J.F. Influência da secagem na qualidade fisiológica de sementes de *Crambe abyssinica*. In: IX Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola – CLIA. XXXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA. **Anais do IX Congresso Latinoamericano Y Del Caribe de Ingeniería Agrícola. XXXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, Vitória – ES, Brasil. 2010. CD ROM.

FARIA, R.Q. **Cinética de secagem e qualidade fisiológica das sementes de crambe**. 2010. 81p. Dissertação (Mestrado Stricto Sensu em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2010.

FIGLIOLIA, M.B.; PIÑA-RODRIGUES, F.C.M. **Manejo de sementes de espécies arbóreas**. São Paulo: Instituto Florestal, 1995. 59 p. (Série Registros, n.15).

FREITAS, R.A.; DIAS, D.C.F.S.; CECOM, P.R.; REIS, M.S. Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de algodão durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, v.22, n.2, p.94-101, 2000. <http://www.abrates.org.br/revista/artigospublicados/indice.php?v=22&n=2>

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: Fealq, 2005. 495 p.

MARQUES, M.A.; PAULA, R.C.; RODRIGUES, T.J.D. Adequação do teste de condutividade elétrica para determinar a qualidade fisiológica de sementes de jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. All. ex Benth.). **Revista Brasileira de Sementes**, v.24, n.1, p.271-278, 2002. <http://www.abrates.org.br/revista/artigos/2002/v24n1/artigo38.pdf>

MELLO, F.O.T; PAULILLO, L.F; VIAN, C.E.F. O Biodiesel no Brasil: Panorama, perspectivas e desafios. **Informações Econômicas**, v.37, n.1, p.28-40, 2007. [http://www.funepe.edu.br:91/funepe/professores/materiais/10/IE\\_Biodiesel.pdf](http://www.funepe.edu.br:91/funepe/professores/materiais/10/IE_Biodiesel.pdf)

NAKAGAWA, J.; CAVARIANI, C.; CASTRO, M.M. Armazenamento de sementes de aveia preta produzidas em solos de diferentes fertilidades. **Revista Brasileira de Sementes**, v.26, n.2, p.7-14, 2004. <http://www.agrolink.com.br/downloads/123299.pdf>

NEVES, M.B.; TRZECIAK, M.B.; VINHOLES, P.S.; TILLMAN, A.C.; VILLELA, F.A. Qualidade fisiológica de sementes de crambe produzidos em Mato Grosso do Sul. In: Simpósio Estadual de Agroenergia, 2007, Pelotas, RS. **Anais do Simpósio Estadual de Agroenergia**. Pelotas, RS : EMBRAPA, 2007. p.97-98.

[http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/download/livro/Agroenergia\\_2007/Agroener/trabalhos/Outras%20culturas\\_11\\_OK/Neves\\_1.pdf](http://www.cpact.embrapa.br/publicacoes/download/livro/Agroenergia_2007/Agroener/trabalhos/Outras%20culturas_11_OK/Neves_1.pdf)

PÁDUA, G.P.; VIEIRA, R.D. Deterioração de sementes de algodão durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, v.23, n.2, p.255-262, 2001. <http://www.abrates.org.br/revista/artigos/2001/v23n2/artigo35.pdf>

RESIO, A.N.C.; AGUERRE, R.J.; SUAREZ, C. Analysis of simultaneous water absorption and water-starch reaction during soaking of amaranth grain. **Journal of Food Engineering**, v.68, n.02, p.265-270, 2005. <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6T8J-4CXMT8M-2/2/126224924f901d54b3ff40f5db6b0407>

SANTOS, S.R.G.; PAULA, R.C. Teste de condutividade elétrica para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Sebastiania commersoniana* (Bail) Smith e Dows – Euphorbiaceae. **Revista Brasileira de Sementes**, v.27, n.2, p.136-145, 2005. <http://www.scielo.br/pdf/rbs/v27n2/a20v27n2.pdf>

SCHMIDT, L. **Guide to handling of tropical and subtropical forest seed**. Denmark: Danida Forest Seed Centre, 2000. 511p.

SOUZA, V.C.; BRUNO, R.L.A.; ANDRADE, L.A. Vigor de sementes armazenadas de ipê-amarelo *Tabebuia serratifolia* (Vahl.) Nich. **Revista Árvore**, v.29, n.6, p.833-841, 2005. <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v29n6/a01v29n6.pdf>

TOLEDO, M.Z.; FONSECA3, N.R.; CESAR, M.L.; SORATTO2, R.P.; CAVARIANI, C.; CRUSCIOL, C.A.C. Qualidade fisiológica e armazenamento de sementes de feijão

em função da aplicação tardia de nitrogênio em cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.39, n.2, p.124-133, 2009.  
<http://www.revistas.ufg.br/index.php/pat/issue/view/664>

TUNES; L.M; BARROS, A.C.S.A; BADINELLI, P.G; GARCIA, D.C. Armazenabilidade de sementes de cevada colhidas em diferentes épocas. **Bioscience Journal**, v.26, n.3, p.403-412, 2010.  
<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/viewFile/7121/4853>

ULLMANN, R.; RESENDE, O.; SALES, J.F.; CHAVES, T.H. Qualidade das sementes de pinhão manso submetidas à secagem artificial. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n.3, p.442-447, 2010.  
<http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/viewFile/911/463>

VIEIRA, R.D.; KRZYZANOWSKI, F.C. Teste de condutividade elétrica. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Eds.). Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina, PR: **ABRATES**, 1999. Cap. 04, p.1-26.

VIEIRA, R.D; PENARIO, A.L; PERECIN, D; PANOBIANCO, M. Condutividade elétrica e teor de água inicial das sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.09, p.1333-1338, 2002. <http://www.scielo.br/pdf/pab/v37n9/13209.pdf>

## CONCLUSÃO GERAL

- De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que:

- O tempo de secagem das sementes de *Crambe abyssinica* foi reduzido com o aumento da temperatura e a qualidade fisiológica das sementes do crambe foi influenciada pelo aumento da temperatura.

- Houve diferença para as características IVG e porcentagem de germinação na temperatura de secagem de 30 °C, e nessa temperatura, o IVG e a porcentagem de germinação foram superiores às demais temperaturas avaliadas.

- A taxa de absorção de água do crambe foi mais elevada para as temperaturas de secagem de 23, 40 e 70 °C. A secagem em temperaturas elevadas não influenciou a condutividade elétrica.

- Entre os modelos analisados para representar a secagem das sementes de crambe, o modelo de Wang e Singh foi o que melhor se ajustou aos dados nas diferentes condições de secagem.

- O coeficiente de difusão efetivo aumenta com a elevação da temperatura durante a secagem do crambe.

- A relação entre o coeficiente de difusão efetivo e a temperatura de secagem pode ser descrita pela equação de Arrhenius, que apresenta uma energia de ativação de 37,07 kJ.mol<sup>-1</sup> para a difusão líquida no processo de secagem das sementes de crambe.

A câmara climatizada com aparelho de ar condicionado (18±1 °C; 53±7% UR) conserva melhor a qualidade dos frutos de crambe em relação à condição ambiente (26±3 °C; 55±12% UR) e à câmara refrigerada do tipo B.O.D. (5±1 °C; 79±5% UR).

O armazenamento dos frutos por doze meses nos três ambientes analisados promove a quebra de dormência das sementes.

- De maneira geral, a escolha da temperatura de secagem e o ambiente de armazenamento devem ser feitos considerando a disponibilidade de mão de obra, os custos e o gasto de energia, as condições climáticas, a programação das atividades do produtor e a quantidade de sementes a ser processada.