



EFEITO DO ARMAZENAMENTO NA QUALIDADE DOS GRÃOS E DO ÓLEO DE CRAMBE PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Pedro Henrique Silva Bezerra¹, Marco Antonio Martin Biaggioni², Magnun Antonio Penariol da Silva¹, Felipe Carlos Spneski Sperotto¹ & Fernando João Bispo Brandão¹

RESUMO: O crambe, devido a sua riqueza em óleo vegetal é uma ótima opção para a produção de biodiesel. O armazenamento é prática fundamental para a qualidade fisiológica do grão. As embalagens utilizadas no armazenamento devem diminuir a velocidade do processo de deterioração, mantendo a qualidade do grão. Diferentes combinações de práticas de manejo e condições ambientais afetam a capacidade de armazenamento de grãos em silo bolsa e sacaria, proporcionando maior preservação da matéria prima para a extração do óleo. Dessa maneira, o presente trabalho tem como objetivos avaliar a qualidade do grão e do óleo de crambe submetido a diferentes condições de armazenamento, visando à produção de biodiesel. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, fatorial triplo, com dois tipos de embalagens, três condições de ambiente e três períodos de armazenamento e com três repetições. As análises de qualidade dos grãos foram teor de água, acidez graxa, condutividade elétrica, cor e rendimento de óleo. As análises de qualidade do óleo foram: índice de iodo, viscosidade, massa específica, índice de acidez e teor de água. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de “t” à 5% de probabilidade. Os resultados apontam que a embalagem hermética resistiu às influências do armazenamento e manteve a qualidade dos grãos e do óleo, o tempo de 12 meses apresentou níveis inseguros de qualidade e o ambiente câmara climatizada apresentou evidências de deterioração em todos os quesitos avaliativos, nas embalagens e bolsa hermética e sacaria convencional.

PALAVRAS-CHAVE: Biocombustíveis, embalagem, oleaginosa.

STORAGE EFFECTS ON QUALITY OF CRAMBE GRAIN AND OIL FOR BIODIESEL PRODUCTION

ABSTRACT: The crambe, due to its richness in vegetable oil, is a great option for biodiesel production. Proper storage is fundamental for the grain physiological quality. The packaging used in storage should decrease the deterioration process, maintaining the quality of the grain. Different combinations of management practices and environmental conditions affect the grain storage capacity in silo bag and sacks, providing greater preservation of raw material for oil extraction. In this way, this study aims to evaluate the quality of crambe grain and oil submitted to different storage conditions, aiming at the production of biodiesel. The experimental design was a randomized, triple factorial, with two package, three environmental conditions, and three storage periods, with three replications. The grain quality analyses were as follow: water content, fat acidity, electrical conductivity, color, and oil yield. The oil quality analyses were: iodine index, viscosity, density, water content, and acid content. The results were submitted to analysis of variance and the means compared using the "t" test at 5% probability. The results show that the hermetic packaging resist from storage influences and kept the quality of grain and oil, the time of 12 months had unsafe levels of quality and the climate chamber environment presented evidence of deterioration in all evaluation requisites, on both the packaging hermetic bag and conventional sacks.

KEYWORDS: Biofuels, packing, oilseed.

1 INTRODUÇÃO

A maior parte de toda a energia consumida no mundo provém do petróleo, do carvão mineral e do gás natural. Contudo, a limitação na disponibilidade destas fontes não renováveis, e os problemas ambientais gerados despertam a preocupação pela procura de fontes de energia renováveis (GOLDEMBERG, 2009). Os impactos ambientais causados pelo uso de combustíveis fósseis e as preocupações sobre os estoques de petróleo bruto motivam estudos e pesquisas por fontes renováveis

¹ Faculdade de Ciências Agrônomicas. Campus de Botucatu. Departamento de Engenharia Rural. Programa de pós-graduação (Doutorado) em Agronomia - Energia na Agricultura. E-mails: pedrohenriquebezerra4@gmail.com ; penariol@gmail.com; felipesperotto@hotmail.com; fernandojbb@gmail.com

² Docente da Faculdade de Ciências Agrônomicas. Campus de Botucatu. Departamento de Engenharia Rural. Programa de pós-graduação (Doutorado) em Agronomia - Energia na Agricultura. E-mail: biaggioni@fca.unesp.br

de combustíveis, principalmente para a substituição do diesel.

O biodiesel tem se mostrado como excelente substituto para o diesel mineral. Neste contexto, a demanda por óleos vegetais é crescente, devido ao aumento do consumo per capita dos países emergentes e pela sua utilização na produção de biodiesel, que é considerada a nova alavanca de impulso na produção de óleos vegetais (LAZZAROTTO; HIRAKURI, 2009).

Por ser uma espécie em que o grão tem alto teor de óleo vegetal e não apresenta aproveitamento alimentício pela presença de ácido erúico, o crambe mostra potencial à produção de biodiesel. É uma planta de cultivo totalmente mecanizado, que permite a utilização de maquinários existentes para o cultivo de grãos miúdos em sua produção. Além disso, se destaca por boa adaptação, rusticidade, precocidade e bom potencial produtivo (PLEIN et al., 2010). É resistente à seca e a geadas e, ainda, constitui-se numa boa opção para a safrinha por se tratar de uma cultura de inverno. Seu ciclo é, em média, de 90 dias e atinge uma produtividade entre 1000 e 1500 quilos por hectare.

Além da produção de biodiesel, o óleo obtido a partir dos grãos de crambe pode ser usado como lubrificante industrial, e na fabricação de borracha sintética, pelo seu alto conteúdo em ácido erúico (50 a 60% do óleo) (OPLINGER et al., 1991). Ainda se compreende a utilização deste óleo na fabricação de plásticos, adesivos e isolação elétrica (SANTOS et al., 2012)

Há muito o quê se pesquisar para consolidar a produção da cultura do crambe em nosso país, dentre os estudos necessários destaca-se os processos de secagem e armazenamento visando manter sua qualidade e a redução de perdas. O conhecimento das características físicas e químicas dos grãos pode auxiliar a minimizar esses problemas, através da aplicação de manejo adequado apoiado em bases científicas (OLIVEIRA, 2011).

Ao se industrializar os grãos, visando a produção simultânea de biodiesel e óleos comestíveis, os períodos de armazenamento aumentaram em muito e não há estudos de conservabilidade que garantam a armazenagem sequer por períodos médios, muito menos por longos períodos, com segurança operacional a cada cadeia produtiva (OLIVEIRA, 2008).

O armazenamento é prática fundamental para o controle da qualidade fisiológica do grão, sendo um método pelo qual se pode preservar a viabilidade e manter o seu vigor (AZEVEDO et al., 2003) por um período mais prolongado. O conhecimento sobre a capacidade de armazenamento dos grãos permite que sejam adotadas condições adequadas para cada espécie (DAVIDE et al. 2003).

As embalagens utilizadas no armazenamento devem ajudar a diminuir a velocidade do processo de deterioração, mantendo o teor de água inicial das sementes armazenadas, com o intuito de diminuir a respiração (TONIN; PEREZ, 2006).

Segundo Villers et al. (2010), o armazenamento hermético mostrou-se um método de sucesso para a

proteção dos grãos, substituindo agroquímicos no controle de insetos e também para a preservação da qualidade dos produtos armazenados, proporcionando condições adequadas para períodos longos de armazenamento.

O armazenamento em bolsas de polietileno, seladas hermeticamente, tem sido avaliado e utilizado para o armazenamento de soja, trigo e milho no Brasil e na Argentina como uma alternativa à grande demanda por unidades armazenadoras no campo (COSTA et al., 2010).

O presente trabalho tem como objetivos avaliar a qualidade do grão e do óleo de crambe submetido a diferentes condições de armazenamento, visando a produção de biodiesel.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi instalado e desenvolvido na Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA) da UNESP em Botucatu (22,85°S; 48,43°W; 742 m).

Foram utilizadas para a semeadura sementes de crambe da cultivar FMS Brilhante. O campo de produção dos grãos consistiu numa área de 0,5 ha.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com dois tipos de embalagens, três condições de ambiente e três períodos de armazenamento, consistindo em um fatorial triplo 2x3x3, com três repetições, totalizando 18 tratamentos e 54 parcelas.

O teor de água foi monitorado a partir do ponto de maturidade fisiológica, até que os grãos atingissem teor de água abaixo de 10% quando procedeu-se a colheita mecânica.

Os grãos secos na planta foram armazenados por um período de doze meses, com avaliações qualitativas realizadas no momento do armazenamento (tempo zero), com seis meses e ao final de um período de doze meses.

Antes do armazenamento, os grãos foram acondicionados em dois tipos de embalagens: mini-bolsas impermeáveis (embalagem hermética) e sacaria de rafia (testemunha).

Os silos bolsas, medindo 0,30 m de diâmetro por 1,30 m de comprimento, com capacidade para 12 kg de crambe, são sacos de polietileno de alta resistência, utilizando filme extrusado com três camadas na sua fabricação e apresentando a face interna preta e a externa branca. Obtém-se, assim, além da hermeticidade, obstrução total à passagem de luz (face preta), evitando a proliferação de fungos, e reflexão da luz com maior intensidade (face branca), causando menor aquecimento na superfície do produto armazenado, aumentando, desta forma, o seu aproveitamento e diminuindo as perdas nutricionais.

A fim de investigar os impactos de diferentes condições de armazenamento sobre a qualidade dos grãos e dos óleos extraídos, os grãos embalados foram mantidos em três ambientes:

- Sala climatizada mantida com umidade relativa constante (próxima de 80%) e com alternância de temperatura (30°C por 16 horas e 25°C por 8

horas), simulando uma condição de estresse por alta temperatura e elevada umidade relativa.

- Estufa agrícola, sem controle de ambiente, simulando uma condição de “armazenagem a céu aberto” com estresse por alta temperatura e elevada insolação.
- Sala não climatizada, sem controle de ambiente, simulando uma condição de “armazém convencional”.

Após o armazenamento, os grãos foram submetidos a extração de óleo, por meio de prensa mecânica. A extração do óleo foi realizada na Faculdade de Tecnologia de Botucatu (FATEC). Amostras do óleo foram, encaminhadas para caracterizações físico-químicas junto ao Centro de Monitoramento e Pesquisa da Qualidade de Combustíveis, Biocombustíveis, Petróleo e Derivados (CEMPEQC) do Instituto de Química da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Araraquara.

O teor de água dos grãos, expresso em % (base úmida b.u.), foi determinado pelo método da estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$, por 24 horas, utilizando-se três repetições de $4,5 \pm 0,5$ gramas (BRASIL, 2009).

A avaliação da acidez graxa foi realizada conforme procedimento determinado pela AACC (1995) e o resultado do teor de ácidos graxos livres foi determinado pela Equação (1):

$$AG = [(V \times 100) / PS] \quad (1)$$

onde:

PS: peso seco da amostra, em gramas;

V: volume gasto de KOH na titulação (extrato + indicador), em mL;

AG: acidez graxa (mL de KOH/100 g de MS).

Para a determinação da condutividade elétrica, foram utilizadas 100 sementes, pesadas e colocadas em copo com capacidade para 200 mL, juntamente com 50 mL de água deionizada e mantidas em câmara a 20°C por 16 horas, de acordo com a metodologia utilizada para canola (WAGNER; DUCOURNAU, 2007).

As análises realizadas para verificar a qualidade do óleo bruto foram: teor de água (ASTM D-2709), índice de acidez (ABNT NBR 14448) e viscosidade cinemática a 40°C (ASTM D-7042).

Após obtenção dos dados, os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de “t” ($p < 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, são apresentados os valores médios do teor de água (TA - % b.u), condutividade elétrica (CE - $\mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$) e acidez graxa (AG - mL KOH 0,1N 100g⁻¹MS), nos grãos de crambe armazenados em dois tipos de embalagens e três ambientes, ao longo do tempo.

Tabela 1 - Valores médios do teor de água (TA - % b.u), condutividade elétrica (CE - $\mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$), acidez graxa (AG - mL KOH 0,1N 100g⁻¹MS) nos grãos de crambe armazenados em dois tipos de embalagens e três ambientes, ao longo do tempo.

Emb	TA	CE	AG
B	7,87 A	420,2 A	8,90 A
S	8,10 B	451,6 B	14,73 A
Amb			
T	7,57 A	417,7 A	8,34 A
E	7,63 A	412,6 A	8,48 A
C	8,75 B	477,4 A	18,63 B
T			
0	7,43 A	105,5 A	9,11 A
6	8,07 B	498,6 B	9,89 B
12	8,45 B	703,6 C	16,46 C
F			
Emb	9,34*	47,93**	2492,60**
Amb	108,19**	84,12**	3402,15**
T	64,57**	5983,53**	1592,39**
CV(%)	3,41	3,82	3,63

n.s.) não significativo ($p \leq 0,05$) C.V.:
Coeficiente de Variação

Na Tabela 2, são apresentados os valores médios do teor de água dos grãos (TA), ao longo dos períodos de armazenamento, acondicionados em diferentes embalagens e condições de ambiente.

Tabela 2 - Valores médios do teor de água (% b.u.) nos grãos de crambe armazenados em dois tipos de embalagens e três ambientes, ao longo do tempo.

Emb	Amb	Tempo (meses)		
		0	6	12
B	T	7,4 aAa	8,0 bAb	8,03 bBb
	E	7,4 aAa	8,0 aAb	7,34 aAa
	C	7,4 aAa	8,3 aAb	8,94 aCc
S	T	7,4 aAa	7,3 aAa	7,2 aAa
	E	7,4 aAa	7,8 aAa	7,9 bBa
	C	7,4 aAa	9,1 bBb	11,4 bCc

(n.s.) não significativo ($p \leq 0,05$).

Durante o armazenamento, houve variações nos teores de água dos grãos em relação ao teor inicial (7,4% b.u.). Nas duas embalagens estudadas, verificou-se variações nos teores de água entre 6 e 12 meses de armazenamento. Ao final de 12 meses de armazenamento, os grãos acondicionados em embalagem sacaria (convencional), atingiram teores de água mais baixos, quando armazenado em condições de temperatura mais alta e umidade relativa mais baixa (Testemunha T = $25,1^\circ\text{C}$ e UR = 65,4%), ou mais alto quando armazenado na (Estufa Agrícola T = $25,9^\circ\text{C}$ e UR = 72,8%), com temperaturas mais baixa associada a umidade relativa maior. Além disso, demonstrou reumidificação no ambiente com as maiores médias de umidade relativa do ar (Câmara T = $32,5^\circ\text{C}$ e UR =

82%). O reumedecimento ocorreu em função da maior exposição dos grãos ao ambiente úmido, tendo os mesmos entrado em equilíbrio higroscópico com o ambiente. Os resultados corroboram com os observados por Bertinetti et al. (2011), que estudando os efeitos da hermeticidade no armazenamento de soja, obteve maiores variações no grau de umidade dos grãos armazenados pelo sistema convencional em sacos de rafia, no ambiente ($T = 25^{\circ}\text{C}$ e $\text{UR} = 70\%$), durante 12 meses. Masetto et al. (2013) verificaram que esse parâmetro apresentou variação de 6,5 a 10,2%, independentemente das embalagens e das condições ambientes testadas, no entanto, mostraram aumento do teor de água das sementes no ambiente de câmara fria ($T = 15 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $\text{UR} = 45\%$), quando comparado com o teor das sementes acondicionadas em laboratório ($T = 25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $\text{UR} = 60\%$). Quando os grãos são armazenados em embalagens permeáveis, seu teor de água altera conforme as variações da umidade do ar, por serem higroscópicas. (BAUDET, 2003).

Por outro lado, quando a temperatura e a umidade relativa foram mantidas constantes e em níveis elevados, a embalagem bolsa (hermética) foi capaz de resistir às influências do ambiente, até o sexto mês de armazenamento, registrando após um aumento significativo do teor de água do crambe após 12 meses. A embalagem sacaria permitiu um reumedecimento significativo nos grãos armazenados a partir do sexto mês, mostrando níveis inseguros para a sua conservação ao final dos 12 meses.

No entanto, os grãos que foram acondicionados na embalagem tipo bolsa (hermética), embora tenham permitido oscilações no teor de água dos grãos de crambe, com variação de 7,43 a 8,03%, armazenados em condições testadas, que melhor simularam condições naturais (Testemunha $T = 25,1^{\circ}\text{C}/\text{UR} = 65,4\%$) e (Estufa Agrícola $T = 25,9^{\circ}\text{C}$ e $\text{UR} = 72,8\%$), ao final do período de armazenamento, observou-se que as médias se mantiveram estáveis e a embalagem bolsa (hermética) mostrou-se mais resistente às influências do ambiente externo. Resultados semelhantes foram observados por Costa et al. (2012), que armazenaram grãos de crambe em recipientes de vidro coberto com tecido permeável nas condições ambientes ($T = 26 \pm 3^{\circ}\text{C}$; $\text{UR} = 55 \pm 12\%$), que permitiu variações no teor de umidade (5,77 – 10,55% b.u.).

Ao final do período de 12 meses de armazenamento, não houve uma diminuição significativa do teor de umidade, devido à temperatura e umidade relativa do ar ser mais baixa nesta época do ano (julho). Tais condições fizeram os frutos alcançarem o equilíbrio com as condições ambientais em que foram armazenados. Alencar et al. (2009), avaliando qualidade dos grãos de soja armazenados em diferentes condições, observaram que os grãos acondicionados em recipiente hermético de plástico, em geral, apresentaram teores de água que permaneceram praticamente constantes, com desvio padrão máximo de 0,4 ao longo do armazenamento. Resultados semelhantes foram obtidos por González-Torralba et al. (2013), estudando a influência da temperatura e umidade relativa do ar nas propriedades de

grãos de trigo armazenados na região Mediterrânea da Europa, em recipiente de vidro, hermeticamente fechado, observaram que após um período de 240 dias, as amostras armazenadas nas condições ($T = 30^{\circ}\text{C}$ e $\text{UR} = 75\%$), apresentaram menor variação do teor água em relação ao valor de teor de água obtido no início do armazenamento (14,2 - 14,6%). Resultados semelhantes foram obtidos por Matos et al. (2008), os quais verificaram também pequena variação no teor de água nas sementes de pau-pereira, acondicionadas em embalagens herméticas durante seis meses de armazenamento.

Segundo Queiroga et al. (2009), quanto mais baixo for o teor de água das sementes durante o armazenamento, maior será sua longevidade. Para Marcos Filho (2005), as sementes devem ser mantidas com grau de umidade de 10 a 12% para o armazenamento durante seis a oito meses, sendo indicados valores mais baixos para espécies como o crambe, em que predominam reservas de lipídeos. Na tabela 3 são apresentadas as médias dos valores de condutividade elétrica dos grãos de crambe condicionados em diferentes embalagens e condições ambientes ao longo de 12 meses.

Tabela 3 - Valores médios de condutividade elétrica ($CE - \mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$) nos grãos de crambe armazenados em dois tipos de embalagens e três ambientes, ao longo do tempo.

		Tempo (meses)		
Emb	Amb	0	6	12
B	T	105,5 aAa	455,5 aAb	681 aAc
	E	105,5 aAa	459,9 aABb	676,4 aAc
	C	105,5 aAa	483,2 aBb	709,6 aBc
S	T	105,5 aAa	469,4 aAb	689,5 aAc
	E	105,5 aAa	469 aAb	659,1 aAc
	C	105,5 aAa	654,6 bBb	806,4 bCc

(n.s.) não significativo ($p \leq 0,05$).

A quantidade de íons lixiviados encontrados na solução de embebição do crambe, em função da deterioração da membrana celular dos grãos, que ocorreu durante o armazenamento, foi estatisticamente maior aos 6 e 12 meses, nas duas embalagens e para todos ambientes estudados. No entanto, ao final do período de armazenamento, a bolsa (hermética) apresentou valores médios menores de íons lixiviados que se diferiram dos apresentados pela embalagem sacaria (convencional) armazenados nos ambientes (Estufa Agrícola com $T = 25,9^{\circ}\text{C}$ e $\text{UR} = 72,8\%$) e (Testemunha com $T = 25,1^{\circ}\text{C}$ e $\text{UR} = 65,4\%$), mostrando-se mais eficiente na manutenção da qualidade dos grãos. Resultado semelhante foi encontrado por Santos (2008), que avaliando a qualidade de grãos de milho armazenados em bolsas herméticas, em ambientes com médias de temperatura 35°C observou aumento dos valores de condutividade elétrica em função do tempo.

A embalagem sacaria (convencional), armazenada na (Câmara Climatizada com $T = 32,5^{\circ}\text{C}$ e $\text{UR} = 82\%$), apresentou valores de lixiviados oito vezes maior ($806,4 \mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$) que os valores encontrados no início ($105,5 \mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$) do armazenamento. Resultados semelhantes

foram encontrados por Costa et al. (2013), em sementes de *Apeiba tibourbou* Aubl acondicionadas em sacos de papel Kraft, onde se verificou um aumento na quantidade de eletrólitos liberados pelas sementes durante o armazenamento, na câmara climatizada (T = 18° C e UR = 57%), o que confirma a influência do tempo de armazenamento e condições ambientes na quantidade de solutos lixiviados.

Na tabela 4 são apresentadas as médias dos valores de ácidos graxos livres dos grãos de crambe condicionados em diferentes embalagens e condições ambientes ao longo de 12 meses.

Tabela 4 - Valores médios de acidez graxa (AG - mL KOH 0,1N 100g⁻¹MS) nos grãos de crambe armazenados em dois tipos de embalagens e três ambientes, ao longo do tempo.

		Tempo (meses)		
Emb	Amb	0	6	12
B	T	9,1 aAb	8,7 aAb	7,5 aAa
	E	9,1 aAb	8,8 aAb	7,7 aAa
	C	9,1 aAa	9,1 aAa	10,9 aBb
S	T	9,1 aAb	8,5 aAb	7,1 aAa
	E	9,1 aAb	8,6 aAb	7,5 aAa
	C	9,1 aAa	15,5 bBb	58 bBc

(n.s.) não significativo ($p \leq 0,05$).

O índice de ácidos graxos indica a deterioração causada pelo ambiente de armazenamento ao longo do tempo. De modo geral, o ambiente com temperatura e umidade relativa do ar (Câmara Climatizada com T = 32,5°C e UR = 82%) mais alta, resultou em maiores teores de acidez graxa, com valores que variaram de 9,1 a 58 mL de KOH 100g⁻¹ MS. Os resultados aproximam-se daqueles obtidos por Sravanthi et al. (2013), que avaliando o efeito das condições de armazenamento em lentilhas vermelhas, observaram aumento de seis vezes no valor de ácidos graxos livres quando armazenadas a 40 °C, com teor de água 17,5% b.u.

Em relação ao tempo de armazenamento, aos 6 meses a embalagem sacaria (convencional) já se mostrou ineficiente com elevados teores de ácidos graxos (15,53) e aos 12 meses observou-se o pior resultado na sacaria armazenada no ambiente câmara. No entanto, a embalagem bolsa (hermética) manteve controlados os níveis de ácidos graxos em todos ambientes, preservando a qualidade dos grãos. Park et al. (2012), analisando as mudanças nas características físico-químicas de arroz durante o armazenamento em diferentes temperaturas na Korea, observam valores mais elevados de ácidos graxos livres obtidos no arroz armazenado a 40°C (14,37 mL KOH/100 MS) após 4 meses de armazenamento.

Na Tabela 5 são apresentados os valores médios do teor de água (TAO - ppm), índice de acidez (IA - mg KOH g amostra⁻¹) e viscosidade cinemática (VC - mm²/s) do óleo bruto extraído de grãos de crambe armazenados em dois tipos de embalagens e três ambientes, ao longo do tempo.

Tabela 5 - Valores médios do teor de água (TAO - ppm), índice de acidez (IA - mg KOH g amostra⁻¹) e viscosidade cinemática (VC - mm²/s) do óleo bruto extraído de grãos de crambe armazenados em dois tipos de embalagens e três ambientes, ao longo do tempo.

Emb	TAO	IA	VC
B	848,4 A	0,82 A	49,6 B
S	906,1 A	2,62 B	49,4 A
Amb			
T	851,0 A	1,01 A	49,6 B
E	924,8 A	3,11 B	49,5 B
C	856,0 A	1,05 A	49,3 A
T			
0	1300 B	0,41 A	49,6 B
6	635,5 A	1,88 B	49,4 A
12	696,3 A	2,87 C	49,4 A
F			
Emb	0,41 ^{n.s.}	100,42*	24,24*
Amb	0,28 ^{n.s.}	59,89*	21,73*
T	22,19*	62,32*	10,00*
CV(%)	37,72	38,27	0,24

Na Tabela 6, são apresentados os valores médios do teor de água no óleo bruto extraídos dos grãos de crambe, acondicionados em diferentes embalagens e condições ambientes ao longo de 12 meses de armazenamento. O teor de água médio do óleo, entre os tratamentos foi de 714,7 ppm. Esse valor ficou abaixo do limite máximo estipulado pela ANP, que é de 0,5 % v/v.

Tabela 6 - Valores médios do Teor de água (ppm) no óleo bruto extraído de grãos de crambe armazenados em dois tipos de embalagens e três ambientes, ao longo do tempo.

		Tempo (meses)		
Emb	Amb	0	6	12
B	T	1300 aAb	526,1 aAa	604,2 aAa
	E	1300 aAb	739,6 aAa	580,8 aAa
	C	1300 aAb	694,7 aAa	590,2 aAa
S	T	1300 aAb	508 aAa	867,7 aAab
	E	1300 aAb	671,4 aAa	544,3 aAa
	C	1300 aAb	673,1 aAa	991 aAab

(n.s.) não significativo ($p \leq 0,05$).

Até os 6 primeiros meses de armazenamento, ocorreu diminuição nos teores de água no óleo bruto, extraído dos grãos armazenados nas embalagens sacaria semi-permeável e bolsa hermética, que se deve pelo comportamento da água na massa de grão, que se redistribui depois de ser armazenada no novo ambiente, demonstrando comportamento de readequação à nova condição a qual o grão está submetido.

Aos 12 meses de armazenamento, o teor de água no óleo bruto, extraído dos grãos que formam armazenados na bolsa hermética diminuiu, enquanto na embalagem

sacaria, o teor de água no óleo aumentou no ambiente (Câmara com $T = 32,5^{\circ}\text{C}$ e $\text{UR} = 82\%$), com o maior valor médio observado, (991 ppm). No mesmo tratamento foi observada a maior média do teor de água no grão, com (11,35% b. u.), que evidencia que os resultados obtidos nas análises estão relacionados.

Nos últimos 2 meses de armazenamento foi registrada a menor média de umidade relativa do ar (59,5%) no ambiente Estufa, onde foi observado o menor teor de água no óleo extraído dos grãos armazenados na sacaria (544,3 ppm). Quando os grãos são armazenados em embalagens permeáveis, seu teor de água altera conforme as variações da umidade do ar, por serem higroscópicas (BAUDET, 2003).

Na Tabela 7 são apresentados os valores médios do índice de acidez do óleo bruto de crambe obtido em cada método de armazenamento. Houve diferença entre os tratamentos ($p \leq 0,01$) para a análise do índice de acidez do óleo bruto, extraído dos grãos armazenados.

Tabela 7 - Valores médios do Índice de Acidez ($\text{Mg KOH g amostra}^{-1}$) do óleo bruto extraído de grãos de crambe armazenados em dois tipos de embalagens e três ambientes, ao longo do tempo.

		Tempo (meses)		
Emb	Amb	0	6	12
B	T	0,41 aAa	1,96 aAb	0,65 aAa
	E	0,41 aAa	1,10 aAa	0,44 aAa
	C	0,41 aAa	1,02 aAa	1,0 aAa
S	T	0,41 aAa	1,35 aAa	1,27 aAa
	E	0,41 aAa	2,13 aAb	1,79 bAa
	C	0,41 aAa	3,75 bBb	12,07 bBc

(n.s.) não significativo ($p \leq 0,05$).

O óleo de crambe bruto apresenta um elevado índice de acidez, devido à presença de ácidos graxos livres, água, fosfolipídios ou ceras (ONOREVOLI, 2012). O estado de conservação do óleo está intimamente relacionado com a qualidade da matéria prima, principalmente com as condições de conservação durante o armazenamento. Pelos resultados obtidos, o óleo extraído dos grãos armazenados na embalagem sacaria no ambiente (Câmara com $T = 32,5^{\circ}\text{C}$ e $\text{UR} = 82\%$), apresentaram o pior estado de conservação (12,07 mg NaOH/g), aos 6 e 12 meses, sendo que aos 12 meses foi expressivamente maior. Para Tang et al. (2010), entre as consequências negativas da degradação oxidativa do biodiesel, pode ser destacada a elevação da acidez e a formação de gomas e compostos poliméricos indesejáveis. Rodrigues et al. (2013), analisando a qualidade do óleo em sementes de *Jatropha curcas* L., cultivada em Moçambique e armazenadas em diferentes condições, observou que o índice de ácidos livres no óleo das sementes armazenadas em $T = 28^{\circ}\text{C}$ a $\text{UR} = 75\%$ aumentou linearmente ao longo do armazenamento.

O menor valor de índice de acidez (0,44 mg NaOH/g) foi encontrado no óleo extraído dos grãos armazenados na embalagem bolsa hermética, no ambiente (Estufa com $T = 25,9^{\circ}\text{C}$ e $\text{UR} = 72,8\%$), onde também foi encontrado o

menor índice de lixiviados pelo teste de condutividade elétrica e o menor teor de água. Isso mostra que a embalagem analisada manteve a qualidade, proporcionando grãos menos deteriorados. O óleo de crambe possui elevado teor de ácidos graxos de alto peso molecular, e a predominância ocorrente é do ácido erúico, seguido então do ácido oleico, tornando o óleo impróprio para consumo humano, sendo uma interessante alternativa para a produção de biodiesel (LAGHETTI et al.; LAZZERI et al., 1997). A oxidação do óleo vegetal pode afetar o índice de acidez e a viscosidade cinemática (DUNN, 2008).

Os valores do índice de acidez obtidos nesse trabalho não estão de acordo com os estabelecidos pela ANP na Resolução n.º. 7, que estabelece que o limite máximo estipulado para índice de acidez é de $0,5 \text{ mg KOH g}^{-1}$.

Na Tabela 8, são apresentados os valores de viscosidade cinemática a 40°C do óleo bruto de crambe, em cada embalagem nos três ambientes.

Tabela 8 - Valores médios de Viscosidade Cinemática (mm^2/s) do óleo bruto extraído de grãos de crambe armazenados em dois tipos de embalagens e três ambientes, ao longo do tempo.

		Tempo (meses)		
Emb	Amb	0	6	12
B	T	49,58 aAa	49,56 aAa	49,59 aAa
	E	49,58 aAa	49,51 aAa	49,56 aAa
	C	49,58 aAab	49,40 aAa	49,63 bAb
S	T	49,58 aAa	49,55 aBa	49,56 aBa
	E	49,58 aAb	49,35 aAa	49,60 aBb
	C	49,58 aAc	49,22 aAb	48,55 aBa

(n.s.) não significativo ($p \leq 0,05$).

Os valores médios de viscosidade cinemática a 40°C (49,44 mm^2/s .) mostram um comportamento esperado, em resposta aos métodos de armazenamento ao longo de 12 meses. Até os 6 meses os valores se mantiveram estáveis, depois desse período a viscosidade cinemática a 40°C aumentou indicando início de oxidação em função do tempo e do ambiente de armazenamento.

No óleo proveniente dos grãos armazenados no ambiente (Câmara com $T = 32,5^{\circ}\text{C}$ e $\text{UR} = 82\%$) foi observado a maior média de viscosidade cinemática a 40°C (49,63 mm^2/s). Concordando com os resultados apresentados na Tabela 8, Jasper et al. (2009), obtive valor médio de viscosidade cinemática de 49,02 mm^2/s . De acordo com Wazilewski et al. (2012), o biodiesel produzido a partir do óleo de crambe possui elevada viscosidade cinemática, porém apresenta-se dentro dos limites máximos aceitos pelas normativas. Resultados semelhantes foram obtidos por Wazilewski et al. (2013), que compararam a estabilidade oxidativa do biodiesel, produzido a partir do óleo de crambe e de soja, através da medição da viscosidade cinemática, observaram valores médios de (49,4 mm^2/s) superiores ao do óleo de soja (31,5 mm^2/s), que ainda citaram que isto pode ser explicado devido à alta concentração de ácidos graxos

com cadeias longas em óleo de crambe, contendo 22 átomos de carbono.

4 CONCLUSÕES

Houve efeito positivo da embalagem hermética na qualidade dos grãos armazenados, para os aspectos avaliativos teor de água e condutividade elétrica.

O tempo de 12 meses de armazenamentos apresentou níveis inseguros de qualidade para os grãos de crambe, independente da embalagem e do ambiente.

Os grãos, quando submetidos ao armazenamento no ambiente câmara climatizada, apresentaram evidências de deterioração em todos os quesitos avaliativos nas embalagens bolsa (hermética) e sacaria (convencional).

As análises de qualidade realizadas no óleo bruto do crambe apontam que o índice de iodo e o índice de acidez apresentaram valores médios significativamente melhores na embalagem bolsa hermética, demonstrando melhor eficiência na manutenção da matéria prima para a produção do biodiesel.

5 REFERÊNCIAS

ALENCAR, E. R.; FARONI, L. R. D.; LACERDA FILHO, A.F.; PETERNELLI, L. A.; COSTA, A.R. Qualidade dos grãos de soja armazenados em diferentes condições. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 5, p. -613, 2009.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved methods of the AACC**. 8.ed. Saint Paul, 1995.

AZEVEDO, M. R. Q. A.; GOUVEIA, J. P. G.; TROVÃO, D. M. M.; QUEIROGA, V. P. Influência das embalagens e condições de armazenamento no vigor de sementes de gergelim. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 519-524, 2003.

BAUDET, L. Armazenamento de sementes. In: PESKE, S. T.; ROSENTHAL, M. D.; ROTA, G. M. (Ed.) **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. Pelotas: Gráfica Universitária UFPEL, 2003. p. 369-418.

BERTINETTI, I. A.; OLIVEIRA, M.; OLIVEIRA, L. C. de; VANIER, N. L.; ELIAS, M. C. Efeitos da hermeticidade no armazenamento de soja sobre rendimento e qualidade de grãos e do óleo para biodiesel. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 20., 2011, Pelotas. **Anais ... Pelotas: UFPEL**, 2011.

BRASIL. Lei nº. 11.097, de 13 de janeiro de 2009. Dispõe sobre a criação do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel e sobre a adição de biodiesel ao óleo diesel. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2005, no art. 11, inciso III, da Resolução ANP nº 69. Disponível em:

<http://presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/96947/lei-11097-05>. Acesso em: 8 ago de 2013.

COSTA, A. R.; FARONI, L. R. D.; ALENCAR, E. R.; CARVALHO, M. C. S.; FERREIRA, L. G. Qualidade de grãos de milho armazenados em silos bolsa. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza. v. 41, n. 2, p. 200-207, 2010.

COSTA, L. M.; RESENDE, O.; GONÇALVES, D. N.; SOUSA, K. A. Qualidade dos frutos de crambe durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, Rio Verde, v. 34, n. 2, p.239-301, 2012.

COSTA, L. M.; RESENDE, O.; GONÇALES, D. N.; RIGO, A. D. Crambe seeds quality during storage in several conditions. **African Journal of Agricultural Research**, Parakou, v. 8, n. 14, p. 1258-1264, 18 abr. 2013.

DAVIDE, A. C.; CARVALHO, L. R.; CARVALHO, M. L. M.; GUIMARÃES, R. M. Classificação fisiológica de sementes de espécies florestais pertencentes à família Lauraceae quanto à capacidade de armazenamento. **Revista Cerne**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 29-35, 2003.

DUNN, R. O. Antioxidants for improving storage stability of biodiesel. **Biofuel Bioproducts & Biorefining**. Peoria. v. 2, p. 304-318, 2008.

JASPER, S. P. **Cultura do crambe (Crambe abyssinica Hochst):** avaliação energética, de custo de produção e produtividade em sistema de plantio direto. 103 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

LAGHETTI, G.; PIERGIOVANNI, A. R.; PERRINO, P. Yield and oil quality in selected lines of Crambe abyssinica grow in Italy. **Industrial Crops and Products**. Bari. v. 4, n. 3, p. 203-212, 1995.

LAZZAROTTO, J. J.; HIRAKURI, M. H. **Avaliação econômica da produção de soja no Estado do Paraná, para a safra 2009/10**. Londrina: Embrapa Soja, 2009. 22 p. (Circular Técnica, 72).

LAZZERI, L.; MATTEI, F.; BUCELLI, F.; PALMIERI, S. Crambe oil – a potencial new hydraulic oil and quenchant. **Industrial Lubrication and Tribology**. Amsterdam. v. 49, n. 2, p. 71-77, 1997.

GOLDEMBERG, J. Biomassa e energia. **Química Nova**, São Paulo. v. 32, n. 3, p. 582-587, 2009.

GONZÁLEZ-TORRALBA, J.; ARAZURI, S.; JARÉN, C.; ARREGUI, L. M. Influence of temperature and r.h. during storage on wheat bread making quality. **Journal of Stored Products Research**, Pamplona, v. 55, n.8, p. 134-144, out. 2013.

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

- MASETTO, T. E.; GORDIN, C. R. B.; QUADROS, J. de B.; REZENDE, R. K. S.; SCALON, S. de P. Q. Armazenamento de sementes de Crambe abyssinica Hochst. ex R.E.Fr. em diferentes embalagens e ambientes. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 5, p. 646-652, out. 2013.
- MATOS, V. P. FERREIRA, E.G.B.S.; FERREIRA, R. L. C.; SENA, L. H. M.; SALES, A. G. F. A. Efeito do tipo de embalagem e do ambiente de armazenamento sobre a germinação e o vigor das sementes de aipeiba tibourbo'uaubl. **Revista Árvore**, Recife, v. 32, n. 4, p. 617-625, 2008.
- OLIVEIRA, F. A.; KHATCHATOURIAN, O. A.; BIHAIN, A. Estado térmico de produtos armazenados em silos com sistema de aeração: estudo teórico e experimental. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 247-258, 2008.
- OLIVEIRA, M. de. **Efeitos da umidade, do tempo e de sistemas de armazenamento sobre parâmetros de qualidade e propriedades tecnológicas dos grãos e do óleo de soja**. 2011. 133f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial)-Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2011.
- ONOREVOLI, B. **Estudo do Crambe abyssinica como fonte de matérias primas oleaginosas: óleo vegetal, ésteres metílicos e bio-óleo**. 2012. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
- 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. In: **ALTERNATIVE field crops manual**. Madison: University of Wisconsin Cooperative Extension Service; Minneapolis: University of Minnesota Extension Service, Center for Alternative Plant & Animal Products, 1991. Disponível em: <<https://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/crambe.html>>. Acesso em: 12 de ago 2013.
- PARK, C. E.; KIM, Y. S.; PARK, K. J.; KIM, B. K. Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at different temperatures. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v. 48, n.8, p. 25-29, 2012.
- PLEIN, G. S.; FAVARO, S. P.; SOUZA, A. D. V.; SOUZA, C. F. T.; CICONINI, G.; SANTOS, G. P.; MIYAHIRA, M. A. M.; ROSCOE, R. Caracterização da fração lipídica em sementes de crambe armazenadas com e sem casca. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 4.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS**. 2010. João Pessoa. **Inclusão social e energia**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2010. p. 18112-1816. Disponível em: <<http://www.cbmamona.com.br/pdfs/OLE-17.pdf>>. Acesso em: 15 set 2013.
- QUEIROGA, V. P.; CASTRO, L. B. Q.; GOMES, J. P.; JERÔNIMO, J. F.; PEDROZA, J. P. Qualidade de sementes de algodão armazenadas em função de diferentes cultivares e teores de água. **Revista Caatinga**. Mossoró, v. 22, p. 136-144, 2009.
- RODRIGUES, J.; MIRANDA, I.; GOMINHO, J.; VASCONCELOS, M.; BARRADAS, G.; PEREIRA, H.; AGUIAR, F.B.; DIAS, S. F. Variability in oil content and composition and storage stability of seeds from *Jatropha curcas* L. grown in Mozambique. **Industrial Crops and Products**, Lisbon, v. 50, n. 3, p. 828-837, ago. 2013.
- SANTOS, S. B. dos. **Determinação da perda de matéria seca e avaliação qualitativa de grãos de milho armazenados em bolsas herméticas**. 2008. 7 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.
- SANTOS, J. I.; ROGÉRIO, F.; MIGLIAVACCA, R. A.; GOUVEIA, B.; SILVA, T.B.; BARBOSA, M.C. Efeito da Adubação Potássica na Cultura do Crambe. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v.28, n.3, p.346-350. 2012.
- SRAVANTHI, B.; JAYAS, D.S.; LAGUSUNDARAM, K.; CHELLADURAI, V.; WHITE, N.D.G. Effect of storage conditions on red lentils. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v. 53, n. 8, p. 48-53, 2013.
- TANG, H.; GUZMAN, R. C.; SIMON, Ng K.Y.; SALLEY, S. O. Effect of antioxidants on the storage stability of soybean-oil-based biodiesel. **Energy Fuels**, Detroit, v. 24, p. 2028-2033, 2010.
- TONIN, G. A.; PEREZ, S. C. J. G. A. Qualidade fisiológica de sementes de *Ocotea porosa* (Nees et Martius ex. Nees) após diferentes condições de armazenamento e semeadura. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 28, n. 2, p. 26-33, 2006.
- VILLERS, P.; NAVARRO, S.; DE BRUIN, T. New applications of hermetic storage for grain storage and transport. **Julius-kühn-archiv**, Berlin, v. 425, n. 8, p. 446-451, ago. 2010.
- WAGNER, M. H.; DUCOURNAU, S. Conductivity testing for oilseed rape seeds. **ISTA News Bulletin**, Zurich, n. 133, p. 40-41, April, 2007. Disponível em: <<http://www.seedtest.org/upload/cms/user/STI133April2007.pdf>>. Acesso em: 10 nov 2013.
- WAZILEWSKI, W. T.; ROSA, H. A.; CHAVES, L. I.; VELOSO, G.; BARRICCATTI, R. A. Avaliação de propriedades físico-químicas do biodiesel metílico de óleo de Crambe abyssinica hochst. **Journal of Agronomic Science**, Umuarana, v. 1, n. 1, p. 187-195, 2012.
- WAZILEWSKI, W. T. BARRICCATTI, G. I. M.; SECCO, D.; SOUZA, S. N. M.; ROSA, H. A.; CHAVES, L. I. Study of the methyl crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) and soybean biodiesel oxidative

stability. **Industrial Crops and Products**, Cascavel, v. 43, n. 8, p. 207-212, 2013.