

RODRIGO TECHIO BRESSAN

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E OTIMIZAÇÃO DA PRENSAGEM DE  
CRAMBE EM EXTRUSORA MECÂNICA SOB VARIAÇÕES DE  
TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DOS GRÃOS

CASCVEL  
PARANÁ – BRASIL  
MARÇO - 2018

RODRIGO TECHIO BRESSAN

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E OTIMIZAÇÃO DA PRENSAGEM DE  
CRAMBE EM EXTRUSORA MECÂNICA SOB VARIAÇÕES DE  
TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DOS GRÃOS

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura.

Professor Orientador: Dr. Reginaldo Ferreira Santos

Professores Coorientadores: Dr. Deonir Secco e Dr. Luiz Antônio Zanão Junior

CASCADEL  
PARANÁ – BRASIL  
MARÇO – 2018

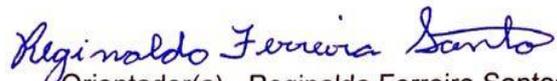
Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
(Sistema de Bibliotecas – UNIOESTE – Campus Cascavel)

B851a	<p>Bressan, Rodrigo Techio. Análises físico-químicas e otimização da prensagem de crambe em extrusora mecânica sob variações de temperatura e umidade relativa dos grãos / Rodrigo Techio Bressan. --- Cascavel (PR), 2018. 91 f.</p> <p>Orientador: Dr. Reginaldo Ferreira Santos. Co-orientadores: Dr. Deonir Secco, Dr. Luiz Antônio Zanão Júnior. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, 2018, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura Inclui Bibliografia</p> <p>1. <i>Crambe abyssinica</i>. 2. Extração mecânica. 3. Otimização. I. Santos, Reginaldo Ferreira. II. Secco, Deonir. III. Zanão Junior, Luiz Antônio. IV. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. V. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 630.205</p>
-------	---

**RODRIGO TECHIO BRESSAN**

**“ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E OTIMIZAÇÃO DA Prensagem de  
CRAMBE EM EXTRUSORA MECÂNICA SOB VARIAÇÕES DE  
TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DOS GRÃOS”**

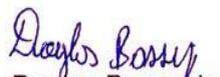
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Biomassa e Culturas Energéticas, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:

  
Orientador(a) - Reginaldo Ferreira Santos

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

  
Luciene Kázue Tokura

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

  
Douglas Bassegio

Cascavel, 14 de março de 2018

*“Porque Eu, o Senhor teu Deus, te tomo pela tua mão direita. E te digo: não temas, eu te ajudo.”*

*(Isaías 41:13)*

## AGRADECIMENTOS

À **Deus** por me dar forças em todas as dificuldades, me erguendo quando estava caído, e me proporcionando alegria em momentos adequados para que esta caminhada se tornasse possível. Também agradeço a Ele por ter me dado esta oportunidade, e por ter colocado em meu caminho pessoas que contribuíram para a minha formação, consolidando inclusive este trabalho, formando amizades e permitindo que o conhecimento fosse adquirido durante esse Mestrado.

Devo aos meus pais **Sérgio Bressan e Tânia Regina Techio Bressan** algo que nunca conseguirei retribuir, pois por eles consegui realizar o sonho da Pós-Graduação, e adquirir todo o conhecimento necessário para a vida, sem vocês eu não teria forças suficientes para completar essa missão. Junto com minha irmã **Emanuelle Techio Bressan**, a melhor e mais paciente conselheira. Eu consigo montar em vocês três, os maiores exemplos de amor, carinho e determinação. Obrigado por fazerem de mim o que sou hoje. Não existem palavras para explicar o que sinto por vocês. Obrigado por me dar amparo quando eu reclamava das dificuldades enfrentadas, dando conselhos e falando o que era necessário ouvir, obrigado também por fazerem todo o necessário para tornar a minha vida melhor.

Aos **AMIGOS** que caminharam comigo esta jornada, espero profissionalmente poder contar com cada um de vocês, e que a amizade permaneça pelo resto da vida.

Ao meu orientador, **Prof. Dr. Reginaldo Ferreira Santos**, por acreditar em mim e me mostrar o caminho da ciência, sempre disponível e disposto a ajudar, fazendo parte da minha vida nos momentos bons e ruins.

À incrível **Geovana Maria Duarte**, por toda sua paciência, amor e preocupação comigo, aconselhando, ajudando, entendendo e vivendo esta etapa extraordinária e cheia de obstáculos comigo.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná – **UNIOESTE**, aos **Prof. Dr. Deonir Secco** e **Prof. Dr. Luiz Antonio Zanão Júnior**, por serem exemplos de profissionais, pelos ensinamentos, amizade e coorientação.

À assistente da coordenação **Vanderléia** pelo incentivo e apoio, querendo que eu aproveitasse cada segundo dentro do mestrado para absorver algum tipo de conhecimento, acreditando sempre no meu potencial.

À **CAPES** e **FUNDETEC** pelo apoio financeiro.

Enfim, a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram na realização deste estudo.

Muito obrigado.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição química de óleos vegetais quanto a sua composição carboxílica .....	6
Tabela 2: Porcentagem de ácidos graxos de dende, soja, crambe e girassol .....	7
Tabela 3: Perfil de composição de ácidos graxos em crambe .....	7
Tabela 4: Índices de acidez de óleos vegetais .....	20
Tabela 5: Viscosidade cinemática de óleos vegetais .....	24
Tabela 6: Porcentagens de matéria seca segundo diferentes autores .....	25
Tabela 7: Porcentagens de fibra bruta segundo diferentes autores .....	26
Tabela 8: Porcentagens de extrato etéreo na torta de crambe segundo diferentes autores .....	28
Tabela 9: Porcentagens de proteína bruta segundo diferentes autores .....	29
Tabela 10: Porcentagens de amido em crambe segundo diferentes autores .....	29
Tabela 11: Características da prensa mecânica .....	33
Tabela 12: Caracterização dos quatro teores de umidade relativa e cinco temperaturas da extração de óleo e torta de crambe .....	34
Tabela 13: Análise visual do óleo de crambe extraído em diferentes umidades relativas e temperaturas .....	43
Tabela 14: Análise de variância do rendimento bruto de óleo para a extração de óleo dos grãos de crambe .....	44
Tabela 15: Valores médios de rendimento bruto de óleo (g) e desvio padrão nos grãos de crambe extraídos em diferentes umidades relativas e temperaturas .....	45
Tabela 16: Análise de variância do índice de acidez para a extração de óleo dos grãos de crambe .....	47
Tabela 17: Valores médios de índice de acidez ( $\text{mg g}^{-1}$ de KOH) e desvio padrão nos grãos de crambe extraídos em diferentes umidades relativas e temperaturas .....	47
Tabela 18: Análise de variância da umidade do óleo dos grãos de crambe .....	50
Tabela 19: Valores médios de umidade do óleo (%) e desvio padrão nos grãos de crambe extraídos em diferentes umidades relativas e temperaturas .....	51
Tabela 20: Análise de variância da massa específica para a extração de óleo dos grãos de crambe .....	52
Tabela 21: Valores médios de massa específica ( $\text{kg m}^{-3}$ ) e desvio padrão nos grãos de crambe extraídos em diferentes umidades relativas e temperaturas .....	53
Tabela 22: Valores - P para análise de viscosidade cinemática para diferentes temperaturas .....	53
Tabela 23: Valores médios de viscosidade cinemática ( $\text{mm}^2 \text{s}^{-1}$ ) e desvio padrão nos grãos de crambe extraídos em diferentes umidades relativas e temperaturas a 25, 40, 50 e 80°C .....	54
Tabela 24: Valores - P para análise de rendimento de torta para diferentes temperaturas .....	55
Tabela 25: Valores médios de rendimento bruto de torta (%) e desvio padrão nos grãos de crambe extraídos em diferentes umidades relativas e temperaturas .....	56
Tabela 26: Valores - P para extrato etéreo; proteína bruta; amidos/carboidratos; teor de cinzas em extração de grãos de crambe em diferentes umidades relativas e temperaturas .....	58

Tabela 27: Valores médios de extrato etéreo; proteína bruta; amidos/carboidratos; teor de cinzas e desvio padrão nos grãos de crambe extraídos em diferentes umidades e temperaturas.....	59
Tabela 28: Análise de variância da fibra bruta para a extração de óleo dos grãos de crambe.....	61
Tabela 29: Valores médios de fibra bruta e desvio padrão nos grãos de crambe extraídos em diferentes umidades relativas e temperaturas.....	61
Tabela 30: Análise de variância da umidade em torta para a extração de óleo dos grãos de crambe.....	63
Tabela 31: Valores médios de fibra bruta e desvio padrão nos grãos de crambe extraídos em diferentes umidades relativas e temperaturas.....	64
Tabela 32: Análises físico-químicas e bromatológicas do óleo de crambe na extração de 140 a 160 °C e teor de umidade relativa de 5%.....	66

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cultura do crambe no florescimento. (A) primavera, (B) verão.....	9
Figura 2: Sementes de Crambe.....	9
Figura 3: Processos de Extração de óleo vegetal.....	16
Figura 4: Organograma organizacional de Análises Bromatológicas .....	25
Figura 5: Prensa <i>Expeller</i> para extração de óleo de crambe.....	32
Figura 6: Prensa Extrusora .....	32
Figura 9: Curva de nível para o rendimento bruto de óleo em extração de grãos de crambe em diferentes temperaturas de extração e umidade relativa. ....	45
Figura 10: Superfície resposta para o rendimento bruto de óleo em extração de grãos de crambe em diferentes temperaturas de extração e umidade relativa. ....	46
Figura 11: Análise de regressão em modelo polinomial para índice de acidez em extração de crambe em diferentes umidades relativas e temperatura.....	48
Figura 12: Análise de regressão em modelo polinomial para umidade do óleo em extração de crambe em diferentes umidades relativas e temperatura.....	51
Figura 13: Curva de nível para o rendimento bruto da torta em extração de grãos de crambe em diferentes temperaturas de extração e umidade relativa. ....	56
Figura 14: Superfície resposta para o rendimento bruto de torta em extração de grãos de crambe em diferentes temperaturas de extração e umidade relativa. ....	57
Figura 15: Análise de regressão em modelo polinomial para fibra bruta em extração de crambe em diferentes umidades e temperatura. ....	62
Figura 16: Análise de regressão em modelo polinomial para umidade da torta em extração de crambe em diferentes umidades relativas e temperatura.....	65

BRESSAN, Me. Rodrigo Techio. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, março, 2018. **Análises físico-químicas e otimização da prensagem de crambe em extrusora mecânica sob variações de temperatura e umidade relativa dos grãos.** Orientador: Reginaldo Ferreira Santos. Coorientadores: Deonir Secco e Luiz Antônio Zanão Júnior.

## RESUMO

O Brasil iniciou um grande desenvolvimento econômico, envolvendo todos os setores do país, mas principalmente o setor da energia. Diante dessa conjuntura, o óleo produzido através de vegetais, e extraído através de prensas, tem grande vantagem na produção de energia, principalmente em regiões afastadas que necessitam de autossuficiência energética, ou ainda em regiões com culturas propícias a extração de óleo. Assim, o presente trabalho visou aperfeiçoar o processo de prensagem mecânica contínua em prensa mecânica, sendo avaliado o efeito das variáveis independentes de temperatura de extração e o teor de umidade adicionado aos grãos de crambe no rendimento de extração de óleo bruto, além da caracterização química e física do óleo bruto e da torta. O delineamento inteiramente casualizado (DIC) com três repetições, sendo assim, cada extração mecânica de óleo e torta foi dividida em quatro teores de umidade relativos de água adicionada a amostra (0, 2, 3,5 e 5 %) e quatro faixas de temperatura (80, 100, 120 e 140 °C) para a extração de óleo e torta de crambe. Foram avaliados os óleos vegetais através de índice de acidez, umidade do óleo, massa específica e viscosidade, além da bromatologia com fibra bruta, extrato etéreo, proteína bruta, amidos, teor de cinzas e umidade da torta. Os dados coletados das amostras de torta e óleo bruto da semente de crambe foram analisados segundo o teste de variância indicando se existem efeito dos tratamentos. Foi determinado o coeficiente ( $R^2$ ) como um parâmetro estatístico que relaciona a variância dos pontos experimentais. A faixa de temperatura de 140 a 160 °C e teor de umidade relativa de 5% o rendimento de óleo numérico será máximo (22,63 %). E o segundo maior rendimento está na faixa de temperatura de 120 a 140 °C com teor de umidade relativa de 2,0 % (20,19 %). O rendimento de torta numérico mínimo se dá na faixa de temperatura de 140 a 160 °C e teor de umidade relativa de 5% (77,36 %). E o segundo menor rendimento numérico de torta está na faixa de 120 a 140 °C com teor de umidade relativa de 2,0 % (79,80 %). Os valores de massa específica, viscosidade cinemática a 40 °C, índice de acidez e umidade do óleo para foram de 837 kg m<sup>-3</sup>, 37,14 mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>, 2,59 mg g<sup>-1</sup> de KOH e 0,176 %. E os valores de umidade de torta, fibra bruta, lipídeos, proteína, carboidratos e cinzas foram respectivamente 12,45, 3,37, 19,23, 26,80, 36,53 e 5,04 % para maior rendimento numérico, assim sendo possível otimizar o processo de otimização de extração mecânica de crambe.

**PALAVRAS CHAVE:** *Crambe abyssinica*, extração mecânica, otimização

BRESSAN, Me. Rodrigo Techio. Univesidade Estadual do Oeste do Paraná, march, 2018. **Physical-chemical analyzes and optimization of crambe pressing in mechanical extruder with variations in grain temperature and relative moisture.** Reginaldo Ferreira Santos. Coorientadores: Deonir Secco e Luiz Antônio Zanão Júnior

### ABSTRACT

Brazil started a great economic development, involving all sectors of the country, but mainly the energy sector. At this juncture, oil produced through vegetables, and extracted through presses, has great advantage in the production of energy, especially in remote regions that need energy self-sufficiency, or even in regions with crops suitable for oil extraction. The aim of the present work was to improve the mechanical pressing process in the mechanical press, evaluating the effect of the independent variables of extraction temperature and the moisture content added to the crambe grains in the crude oil extraction yield. chemical and physical properties of crude oil and cake. The completely randomized design (DIC) with three replications, thus, each mechanical extraction of oil and cake was divided into four relative moisture contents of water added to the sample (0, 2, 3,5 and 5 %) and four temperature (80, 100, 120 and 140 °C) for the extraction of crambe oil and cake. The vegetable oils were evaluated through acidity index, oil moisture, specific mass and viscosity, as well as bromatology with crude fiber, ethereal extract, crude protein, starches, ash content and cake moisture content. The data collected from the samples of pie and crude oil of the crambe seed were analyzed according to the test of variance indicating if there are effects of the treatments. The coefficient ( $R^2$ ) was determined as a statistical parameter that relates the variance of the experimental points. The temperature range of 140 to 160 °C and relative humidity content of 5% the yield of numerical oil will be maximum (22,63 %). And the second highest yield is in the temperature range of 120 to 140 °C with relative humidity content of 2,0 % (20,19 %). The minimum numerical pie yield is in the temperature range of 140 to 160 °C and a relative humidity of 5 % (77,36%). And the second lowest numerical yield of pie is in the range of 120 to 140 °C with relative humidity content of 2,0 % (79,80 %). The values of specific mass, kinematic viscosity at 40 °C, acidity index and oil moisture content were 837 kg m<sup>-3</sup>, 37,14 mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>, 2,59 mg g<sup>-1</sup> KOH and 0,176 %. And the values of pie, crude fiber, lipids, protein, carbohydrates and ash were respectively 12,45, 3,37, 19,23, 26,80, 36,53 and 5,04 % for higher numerical yield, as well being possible to optimize the process of optimization of mechanical extraction of crambe.

**KEYWORDS:** *Crambe abyssinica*, mechanical extraction, optimization.

## ÍNDICE

<b>RESUMO.....</b>	<b>11viii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>ix</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.2 Objetivo Geral .....	3
1.3 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Hipótese .....	4
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Óleos Vegetais.....	5
2.2 Crambe .....	8
2.2.1 Crambe e processos biológicos .....	10
2.2.2 Crambe e suas características .....	11
2.3 Extração Mecânica de Óleos Vegetais.....	11
2.3.1 Métodos de Extração.....	13
2.3.1.1 Prensa hidráulica.....	13
2.3.1.2 Extração por solvente.....	14
2.3.1.3 Extração por fluído supercrítico .....	14
2.3.2 Extração de óleo relacionado com temperatura e umidade relativa .....	15
2.4 Parâmetros físico-químico do óleo do crambe .....	18
2.4.1 Índice de Acidez .....	18
2.4.2 Umidade do óleo .....	21
2.4.3 Massa Específica .....	22
2.4.4 Viscosidade Cinemática .....	23
2.5 Análises Bromatológicas da Torta de Crambe .....	24
2.5.1 Fibra Bruta.....	26
2.5.2 Lipídios ou Extrato Etéreo .....	27

2.5.3 Proteína Bruta .....	28
2.5.4 Amidos/Carboidratos .....	29
2.5.5 Resíduo Mineral Fixo e Umidade da Torta .....	30
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>31</b>
3.1 Caracterização da Área Experimental .....	31
3.2 Caracterização da Matéria-Prima .....	31
3.3 Prensa utilizada para extração de óleo de crambe .....	31
3.4 Extração mecânica do óleo das sementes de crambe.....	32
3.5 Determinação dos Parâmetros de Umidade Relativa e Temperatura .....	33
3.5.1 Umidade base úmida.....	33
3.5.2 Umidade Relativa e Temperatura.....	33
3.6 Métodos Físico-Químicos De Análise .....	34
3.6.1 Rendimento de óleo bruto (REMóleo%) .....	34
3.6.2 Índice de Acidez (IA) .....	35
3.6.3 Umidade do óleo (U%) .....	36
3.6.4 Massa Específica ( $\rho$ ).....	36
3.6.5 Viscosidade Cinemática ( $\nu$ ).....	37
3.7 Métodos Bromatológicos de Análise .....	37
3.7.1 Rendimento de Torta (REMtorta(%)).....	37
3.7.2 Fibra Bruta (FB%) .....	38
3.7.3 Extrato Etéreo (EE%) .....	38
3.7.4 Proteína (PB%) .....	39
3.7.5 Amidos/Carboidratos (A%) .....	40
3.7.6 Resíduos fixo e Cinzas (CZ%) .....	40
3.7.7 Umidade da torta (U%).....	41
3.8 Análises Estatísticas .....	42
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>43</b>

4.1 Análise visual do óleo bruto .....	43
4.1.1 Rendimento de óleo bruto .....	44
4.1.2 Índice de Acidez (IA) .....	46
4.1.3 Umidade do óleo (%).....	50
4.1.4 Massa Específica ( $\rho$ ).....	52
4.1.5 Viscosidade Cinemática ( $\nu$ ).....	53
4.2 Análises Bromatológicas .....	55
4.2.1 Rendimento de Torta.....	55
4.2.2 Extrato Etéreo, Proteína Bruta, Amidos e Cinzas.....	57
4.2.3 Fibra Bruta (FB%) .....	60
4.2.3 Umidade e matéria volátil (U%).....	63
4.2.4 Análises para maior rendimento.....	65
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>67</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>68</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Desde meados do século XX o Brasil iniciou um grande desenvolvimento econômico, envolvendo todos os setores do país, mas principalmente o setor da energia (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, 2003; ULIAN et al., 2017).

O desafio da energia sustentável está centrado na busca do equilíbrio entre o conforto social e a viabilidade econômica, ou seja, deve-se ligar o conceito de sustentabilidade em qualquer atividade para gerar menores prejuízos ao meio ambiente (AGOPYAN, 2012).

Tendo em vista essas temáticas, é necessário, dentro do entendimento de sustentabilidade, abranger várias áreas de uma sociedade, e dentro desse tripé “meio ambiente – economia – sociedade” destaca-se, o desenvolvimento de novas técnicas e procedimentos para obtenção de energia (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2000; AGOPYAN, 2012).

Ser sustentável significa aplicar técnicas à cadeia produtiva, abrangendo o beneficiamento da matéria-prima, passando pelo planejamento e gerenciamento de resíduos, com materiais escolhidos de modo a diminuir ou retardar o extrativismo compulsivo e contribuir com sua recuperação, além de reduzir o consumo de água e energia elétrica (PRADO; JOHN, 2010).

A sustentabilidade aplicada à utilização de novas energias alternativas ao petróleo é de suma importância para o desenvolvimento do país, e o incentivo para a criação de novas tecnologias vem ganhando grande espaço (CARVALHO, 2013). Sendo o Brasil, um país fundamentalmente agrícola, uma nova tecnologia de criação de energia sustentável tem sido a biomassa, utilizada das mais diversas formas, provindas dos resíduos agroindustriais, mas principalmente dos óleos vegetais (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, 2003; INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERAÇÃO PARA A AGRICULTURA IICA, 2017).

O potencial brasileiro é de cerca de 150 milhões de hectares plantados para a implantação de biomassa, sendo 90 milhões referentes às novas fronteiras, e os outros 60 referentes às terras de pastagens que podem ser convertidas em exploração agrícola em curto prazo (STACHIW et al., 2016).

Como fonte de matéria prima, os óleos vegetais apresentam-se viáveis, já que sua semente é a componente que mais possui o teor de óleo, e por esse motivo, é a

mais utilizada para a extração e produção (MARIANO; COURI; FREITAS, 2009).

Assim, os óleos produzidos através de vegetais têm vantagem na produção de energia tanto na sua forma de óleo cru, quanto na forma de biodiesel, e isso se intensifica ainda mais quando se têm locais onde o combustível tem alto custo, ou ainda em regiões afastadas que necessitam de autossuficiência energética (ABDALLA, 2008).

Assim verifica-se uma potência energética agrícola, porém a utilização de produtos alimentícios para a produção de combustível cria em seu contexto geral uma discussão em relação à viabilidade do processo (NEVES et al., 2016). Por isso procuram-se culturas que não sejam alimentícias, como o crambe (HUANG et al., 2015).

A forma com que se utiliza o equipamento de prensagem bem como a temperatura do processo a umidade relativa dos grãos afetam o rendimento de extração do óleo, ou seja, em prensas com menor capacidade de processamento são necessários estudos de otimização, com a finalidade de encontrar o ponto ótimo de rendimento da máquina para as sementes das diferentes espécies de plantas (CHU; KUNG, 1998).

Outra opção viável é a utilização de óleos vegetais em forma natural, adaptando o motor a sua viscosidade, e criando misturas de óleo vegetal com diesel (denominada blenda). Essa opção pode trazer vantagens sustentáveis dentro da produção dos óleos vegetais, porque se pode adaptar de acordo com condições regionais e com culturas de acordo com sua área de cultivo, onde é interessante se adaptar a culturas de fácil acesso (SPINELLI et al., 2010)

Como comparação entre as opções observa-se que: o óleo vegetal usado em forma bruta tem maior facilidade de produção do que o biodiesel, não necessitando de componentes para a reação de produção, e óleo pode provir de qualquer cultura oleaginosa regional (RAMALHO; SUAREZ, 2013).

O crambe é uma cultura que apresenta um grande potencial para ser utilizado para a produção de biodiesel, devido ao alto teor de óleo em sua semente, que quase chega a 50 %, e também pelo fácil acesso a essa semente (OPLINGER et al., 1991).

Como não é recomendado ao consumo humano, devido à presença de ácido erúxico, o crambe tem despertado ainda maior interesse, pois pode ser uma cultura

exclusiva para produção de biodiesel (SILVA et al., 2009).

Dentro do processo de transformação da semente em óleo têm-se dois pontos de vista, o químico que por sua vez seleciona a metodologia de extração de uma forma mais geral, analisando todos os fatores possíveis, como o tipo de semente, tipo de solvente, tamanho de partículas, temperatura, umidade, máquina entre outros (RAMOS; WILHELM, 2005; RIBEIRO; DIAS, 2016).

Aponta-se como principal fator de extração a umidade relativa dos grãos, influenciando no peso final do produto para venda, extração, armazenamento e outros (BRAGANTE, 2009). Afirma-se ainda que a umidade relativa influencie na extração do óleo e em seu rendimento como matéria prima, assim quando se reduz a umidade relativa dos grãos, o rendimento em óleo pode aumentar ou diminuir diferindo de cultura a cultura (PIGHINELLI et al., 2009).

Ainda nesse contexto a temperatura da extração é o principal fator para o rendimento de óleo, bem como o teor de umidade de base úmida da semente também é destacável como variável no processo. Esses dois fatores estão ligados ao armazenamento de sementes e transporte e das sementes (BAUDET, 2003).

Analisando faixas de temperatura verifica-se que para algumas culturas como o amendoim, o crambe e a soja, prensagem sem variação de temperatura não é adequada, pois não se extrai o óleo em sua potencialidade. O aumento na temperatura produz uma torta mais coesa com óleo retirado facilmente, porém essa temperatura deve ser controlada a um limite, o qual não altere a qualidade física e química do óleo e da bromatologia da torta (PIGHINELLI, 2010).

## **1.2 Objetivo Geral**

Aperfeiçoar o processo de prensagem mecânica contínua em uma prensa de extração mecânica, avaliando o efeito das variáveis independentes de temperatura e umidade relativa de grãos de crambe no rendimento de extração de óleo bruto, além de sua caracterização química e física, e dos parâmetros bromatológicos da torta.

### 1.3 Objetivos Específicos

- Avaliar o rendimento do processo de extração de crambe pela prensa extrusora;
- Avaliar a caracterização físico-química da torta e do óleo, extraídos em diferentes temperaturas e umidade relativa dos grãos;
- Determinar o ponto ótimo de uma temperatura e teor de umidade relativo dos grãos para extração de óleo e torta de crambe.

### 1.4 Hipótese

A forma com que se utiliza o equipamento de prensagem bem como a temperatura do processo e a umidade relativa de grãos afetam o rendimento de óleo por prensagem, ou seja, são necessários estudos de otimização, para melhorar as variáveis e descobrir o ponto ótimo de rendimento da máquina para a extração de crambe.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Óleos Vegetais

Os óleos e as gorduras são classificados como lipídios, e são formadas basicamente por triglicerídeos e outros compostos químicos, podendo ser tanto de origem animal, quanto origem vegetal, sendo classificadas em sua solubilidade como substâncias não solúveis em água (MORETTO; FETT, 1998).

Os primeiros estudos sobre a constituição de óleos e gorduras foram realizados pelo químico e físico Michel-Eugène Chevreul, onde foi observado que a hidrólise de óleos e gorduras davam origem a ácidos graxos e glicerol (RAMALHO; SUAREZ, 2013).

Sua composição química varia de 4 a 24 ligações de carbono, os quais podem ser saturados e insaturados, tendo ligações simples e complexas respectivamente. A primeira ligação carbono-carbono, e a segunda de carbono e outros elementos (VIRGENS et al., 2017).

Verifica-se que dentre os óleos analisados por Christie (2003), o Buriti e a Castanha do Pará são as oleaginosas que mais possuem porcentagem de gorduras monossaturadas (76 e 73,6 %, respectivamente), enquanto o girassol e a soja apresentam maior porcentagem de ligações polissaturadas (68,7 e 61,0 %, respectivamente). Para os ácidos graxos saturados, o óleo de palma possui o maior valor (51,4 %), enquanto que o de canola abrange apenas 6,8 % de saturação (Tabela 1).

Os ácidos graxos mais frequentes possuem até 22 carbonos, sendo os mais comuns aqueles com 14 e 18 carbonos, dentre eles os saturados palmítico e esteárico, e os insaturados oléico, linoleico e linolênico (SCRIMGEOUR, 2005).

Nos óleos vegetais, a maior parcela dos ácidos graxos se encontra esterificada (triacilgliceróis). A presença de grandes quantidades de ácidos graxos não esterificados (ácidos graxos livres) é um indicativo de que algum dano permanente ocorreu ao lipídeo (CHRISTIE, 2003).

Tabela 1: Composição química de óleos vegetais quanto a sua composição carboxílica

<b>Óleo</b>	<b>Monossaturados</b>	<b>Polissaturados (%)</b>	<b>Saturados</b>
<b>Azeite de oliva</b>	72,3	11,5	16,2
<b>Buriti</b>	76,0	4,6	19,4
<b>Canola</b>	65,3	27,9	6,8
<b>Castanha do Pará</b>	73,6	5,1	21,3
<b>Girassol</b>	18,7	68,7	12,6
<b>Milho</b>	27,6	57,9	14,5
<b>Óleo de palma</b>	38,0	9,7	51,4
<b>Soja</b>	23,5	61,0	15,5

Fonte: Christie (2003).

Os óleos vegetais provindos de culturas oleaginosas apresentam em sua composição quantidades grandes de ácidos graxos livres e outros componentes como fosfolípidios e esteróis. E essa fonte de biomassa é prontamente disponível e de fácil acesso tecnológico (MORETTO; FETT, 1998).

O Conselho Nacional de Normas e Padrões para Alimentos (CNNPA) em sua resolução nº 20/77 define condições normais de temperatura e pressão para óleos vegetais, como sendo a temperatura de 20 °C o limite mínimo e inferior para o ponto de fusão das gorduras, classificando como óleo quando o ponto de fusão situa-se abaixo desta temperatura (CHISTE et al., 2006).

O ponto de fusão dos triglicerídeos (transformação do estado físico sólido para o líquido) depende das instaurações ou saturações em seus ácidos graxos. As gorduras são sólidas e derivadas de ácidos graxos saturados (possuem ligações simples). Já os óleos são líquidos em condições normais de temperatura e pressão, pois são derivados de ácidos graxos insaturados (possuem ligações duplas). Essa característica para os óleos confere aos mesmos, elevada estabilidade térmica e oxidativa (REDA, 2004).

Segundo Brito (2009) o óleo de crambe é o que possui maior porcentagem de ácido erúico (58,0 %), seguido pelo óleo de soja com 3,3 % (Tabela 2). Enquanto que, o ácido palmítico está presente em maior porcentagem no óleo de dendê, soja, girassol e crambe, respectivamente. Já o ácido oléico possui 17,2 % de sua composição no óleo de crambe, quando comparado com o óleo de dendê com 39 %.

Tabela 2: Porcentagem de ácidos graxos de dende, soja, crambe e girassol

Ácido graxo	Dende	Soja	Crambe	Girassol
(%)				
<b>Palmítico</b>	43,9	10,3	1,8	6,0
<b>Estearico</b>	4,9	4,7	0,7	5,9
<b>Oléico</b>	39,0	22,5	17,2	16,0
<b>Linoléico</b>	9,5	54,1	8,7	71,4
<b>Erúcico</b>	0,3	3,3	58,0	0,6
<b>Brassídico</b>	0,0	0,0	5,2	0,0
<b>Tetracosanóico</b>	0,0	0,0	0,7	0,0
<b>Nervônico</b>	0,0	0,0	1,6	0,0
<b>Outros</b>	2,4	0,1	2,5	0,1

Fonte: Brito (2009).

Observa-se que o óleo de crambe tem em sua composição graxa, maior quantidade de ácido erúcico segundo os autores superando todos os outros ácidos graxos analisados. É possível ainda encontrar-se a média que fica em 59,02 % de composição (Tabela 3).

Tabela 3: Perfil de composição de ácidos graxos em crambe

Ácido	Palmítico	Estearico	Oléico	Linoléico	Erúcico	Nervônico
(%)						
<b>Silva et al. (2009)</b>	1,3	1,1	17,8	2,8	56,7	0,8
<b>Brás (2011)</b>	1,3	0,6	13,0	6,5	64,5	0,8
<b>Gomes Júnior (2010)</b>	2,0	0,7	18,0	9,4	55,9	0,7
<b>Melo (2010)</b>	2,0	0,9	19,0	9,0	59,0	0,9
<b>Média</b>					59,02	

Fonte: Silva et al. (2009); Brás (2011), Gomes Júnior (2010); Melo (2010).

Verifica-se que a composição de ácido erúcico para a semente de crambe é de 40 a 50 % da composição da semente de crambe, o qual se torna impróprio para consumo humano, conforme Bondioli et al. (1998).

Assim, levam-se em conta na análise de viabilidade de escolha de uma cultura desde os princípios da composição de óleo, até os fatores socioeconômicos. Entre esses fatores têm-se como parâmetros de adequação os mais diversos fatores como produtividade regional, competitividade alimentícia, teores de rendimento de óleo, plantação por unidade de área, armazenamento de grãos, transporte e fatores de umidade e temperatura (FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION, 2013).

Bezerra (2014) verificou que o teor de óleo está relacionado com o armazenamento e ambiente de depósito de grãos, verificando valores médios de temperatura.

Igualmente Zhou et al. (2002) verificou a influência de temperatura no teor de lipídios, constatando que acontece decréscimo do teor de óleo em armazenamento com temperatura menor que 35 °C.

## 2.2 Crambe

O crambe pertence à família *Brassicaceae*, da qual fazem parte plantas como a canola (*Brassica napus L.*), a mostarda-castanha (*Brassica campestris L.*), o nabo-forrageiro (*Raphanus raphanistrum L.*) (COLODETTI et al., 2012).

Tem como seu local de origem a região do Mediterrâneo, mais precisamente na África e Ásia, porém a espécie tem demonstrado boa adaptação a diferentes condições climáticas como Europa, Estados Unidos e América do Sul (OPLINGER et al., 1991; SILVA et al., 2010).

Atualmente é cultivada com base na anualidade principalmente pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e Fundação MS, em ciclos de primavera e verão respectivamente (Figura 1). Entretanto, no município de Maracajú em Mato Grosso do Sul, os estudos dessa cultura iniciaram em meados da década de 90, época na qual ocorreu expansão dessa cultura (JASPER et al., 2010a; VIANA, 2013; ECHEVENGUÁ, 2017).



Figura 1: Cultura do crambe no florescimento. (A) primavera, (B) verão.

Fonte: JASPER et al. (2010a).

Os derivados da extrusão da semente de crambe são o óleo e a torta. A semente de crambe possui de 38 a 40 % de óleo, sendo que até 50 % desse óleo é composto de ácido erúcido tornando-o impróprio para consumo humano, porém ganhando grande espaço em outras áreas como a indústria, na fabricação de óleos, lubrificantes, plásticos e biodiesel. A torta por sua vez pode ser utilizada como suplemento proteico na nutrição animal em porcentagem relativamente baixa (PITOL et al., 2010a; PITOL et al., 2010b).



Figura 2: Sementes de Crambe.

Fonte: Pitol et al. (2010b).

O alto teor de óleo da semente (Figura 2) de crambe potencializou esta oleaginosa em sua expansão pelo Brasil, com isso a produção de combustível foi

aumentada com a criação do Programa Nacional de Uso e Produção de Biodiesel. Assim, essa semente tem grande potencial para produção de biodiesel, devido à composição química (ácido erúico com mais da metade em porcentagem na composição da semente) (BISPO et al., 2010; WEISS, 2000).

### 2.2.1 Crambe e processos biológicos

Primordialmente deve-se levar em conta que dentro do ciclo das culturas, sejam florestais ou agrícolas, existem diversos processos e ciclos bioquímicos envolvidos (CAMPOS, 1998; EM DISCUSSÃO, 2014).

Os nutrientes orgânicos e inorgânicos necessários para o crescimento das plantas circulam pelo solo e são fundamentais para o processo da fotossíntese, e conseqüentemente para o crescimento e desenvolvimento das culturas (VIANA, 2013).

Os organismos vegetais sintetizam os açúcares a partir da absorção do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), água, e sais junto com a energia solar. Porém o ciclo não é completo apenas com o desenvolvimento da planta, ou seja, existe todo um processo de decomposição que engloba microrganismos, animais – os quais se aproveitam da matéria orgânica – para que no fim o processo se inicie novamente (CAMPOS, 1998).

Esta cultura realiza um processo metabólico (durante o período com incidência solar) chamado de fotossíntese, que é basicamente a captura de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) da atmosfera, aliado a captura de água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) do solo, e que mediante a energia solar, transforma quimicamente os substratos absorvidos em oxigênio ( $\text{O}_2$ ) e açúcares ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) (MARENCO; LOPES, 2009). Já à noite, a respiração vegetal se procede, realizando um processo onde há absorção de oxigênio e queima dos açúcares para produção de energia (VITAL, 2007; FONTANA et al., 1998).

Dentro desse processo químico-biológico a água é fundamental, sendo importante em três etapas: a) participar da reação da fotossíntese realizada nos estômatos (organela presente na epiderme das folhas, cujas células são responsáveis pelas trocas gasosas; b) participar da transpiração vegetal (que ocorre

em períodos mais amenos, como a noite); c) participar como veículo de transporte de açúcares no sistema interno da planta (SILVA et al., 2013c).

### 2.2.2 Crambe e suas características

Em suas características botânicas, têm folhas não simétricas e lisas de até 15 cm de comprimento e 10 cm de largura (FARIA JÚNIOR, 2013). A flor de cor amarela esbranquiçada, florescendo aos 35 dias após a semeadura, têm suas sementes pequenas e de colocação bege (DESAI; KOTECHA; SALUNKHE, 1997).

Essa cultura é tolerante ao clima seco e também a temperaturas baixas, desde que não seja exposto a essas condições na fase de plântula e no florescimento. A principal característica é quanto ao ciclo de produção de 90 dias, assim, é viável como cultura para rotação em boa parte do território nacional (MACHADO et al., 2007; NEVES et al., 2016;).

A fase primordial para a produção do crambe se estabelece no início de germinação, com densidade recomendada de 17,0 a 22,5 kg ha<sup>-1</sup> de sementes viáveis, resultando numa taxa de germinação de 2.500.000 plantas ha<sup>-1</sup>, e isso se deve a bons rendimentos devido à ramificação de plântulas no florescimento (ATADASHI, et al. 2008; JASPER, 2009).

## 2.3 Extração Mecânica de Óleos Vegetais

Desde a antiguidade, os óleos vegetais apresentavam um grande leque de aplicações na vida humana, e o método mais antigo de extração consistia na aplicação de uma pressão ou força para a extração do óleo da semente. As primeiras prensas eram parafusos (*expeller*) que giravam em torno do próprio eixo extraíndo o óleo por rotação, e isso avança até a tecnologia atual, onde existem prensas modernas contínuas e hidráulicas (FREITAS; NAVES, 2010).

Cita-se como vantagens, o baixo custo de investimento, além de grandes capacidades de extração, com fácil manuseio e não necessidade de solvente. A

prensagem ainda resulta em um rejeito chamado de torta, a qual possui várias características nutricionais (SANTOS et al., 2012).

O funcionamento de prensas do tipo *expeller* tem como fundamento a passagem de um fluido newtoniano dentro de um cilindro chamado extrusor, fazendo com que o grão sofra uma pressão em toda a prensagem. Este processo se divide em três partes: alimentação, processamento e separação. Na alimentação e no processamento tem-se que o volume de reposição de grãos afeta diretamente a produção de óleo. Já na separação, o volume de semente inicial, tem como soma a quantidade de óleo extraído mais a quantidade de torta restante (FREITAS; NAVES, 2010).

Pighinelli (2010) analisou a extração de óleo de sementes de amendoim e algodão com avaliações relacionadas a temperatura e teor de umidade relativa dos grãos. Para as sementes de algodão, o maior rendimento foi de 93 %, atingido para as condições de 5,5 % de umidade relativa e 107 °C de temperatura. Já o menor volume foi de 6,9 %, nas condições de 4,05 % de umidade relativa e 85 °C.

Pighinelli et al. (2008) analisou que a prensagem a frio não é adequada ao amendoim em casca, pois apresentou produção de uma torta quebradiça e com alto teor de óleo. O aumento na temperatura produziu uma torta mais coesa e o óleo foi facilmente recuperado com prensagem de 12 minutos de média. Verificou-se que o maior rendimento (72,19 %) foi para as condições de 9 % de teor de umidade relativa e 85 °C, e o menor rendimento, 43,55 %, foi alcançado nas condições de 72 °C, tanto para 5,5 % de umidade relativa quanto para 12,5 %.

Pominski, Pearce e Spadaro (1970) verificaram o mesmo processo de prensagem de amendoim sendo que as faixas avaliadas foram de 4 a 6 % de teor de umidade relativa, com temperaturas entre 4,4 e 37,8 °C. Os autores verificaram que o valor de teor de umidade mais adequado para a prensagem do amendoim foi de 5 %, aumentando gradativamente quando o teor de umidade aumentava.

Mpagalile, Hanna e Weber (2006) verificaram o rendimento da extrusão em função do teor de umidade para o amendoim, com temperatura de 60 °C, concluindo que o maior rendimento alcançado foi de 70 % de óleo de amendoim, e torta com 16 % de umidade.

E da mesma forma, Singh e Bargale (2000) utilizaram uma prensa mecânica com grãos de amendoim com porcentagens de umidade relativa de 5, 7, 9 e 11 %, alcançando rendimento ótimo para teor de umidade de 7,5 %.

Predojevic (2008) avaliou a prensagem do amendoim sobre a influência do teor de umidade e temperatura dos grãos no rendimento em óleo. A faixa de temperatura avaliada foi de 80 a 120 °C e o teor de umidade relativa, entre 2 e 9 %. O modelo matemático encontrado indicou que tanto a temperatura quanto o teor de umidade dos grãos tiveram um efeito negativo sobre o rendimento em óleo. A melhor condição observada foi de 95,6 °C e 5,42 % de teor de umidade relativa com rendimento em óleo de 92 %.

A extração mecânica de óleos vegetais pode ser utilizada em pequenos espaços, além de permitir utilização do produto óleo e subproduto da torta. Na extração por prensagem, a quantidade de óleo residual na torta depende da espécie processada e das especificações das prensas, e varia entre 15 e 27 % para grãos como algodão, girassol, pinhão-manso e nabo-forrageiro (BENELLI, 2010).

### 2.3.1 Métodos de Extração

Os métodos de extração de óleo podem ser basicamente quatro: prensa hidráulica contínua, prensa hidráulica descontínua, extração por solventes, e fluido supercrítico (WEISS, 2000).

#### 2.3.1.1 Prensa hidráulica

A extração por prensagem é o processo mais utilizado em pequena escala, onde se retira óleo das sementes ou grãos por extrusão com baixa umidade e teores significativos de óleo (KAZMI, 2012).

Divide-se em duas: prensas contínuas onde existe um cilindro ou parafuso que esmaga o grão/semente liberando o óleo, e a descontínua que apresenta um embolo que faz pressão na matéria prima. Esses dois processos elevam a temperatura do material, dependendo do tipo de equipamento que está realizando a

prensagem e principalmente da umidade e temperatura do processo de extrusão (TRENTINI et al., 2016).

#### 2.3.1.2 Extração por solvente

A extração por solventes por sua vez, apresenta a característica de permitir que sejam extraídos os componentes lipofílicos, habilidade de um composto químico dissolver-se em gorduras, óleos vegetais, lipídios em geral (BRENNAN, 2006). Deve-se considerar essa escolha de extração levando em conta todos os processos de obtenção da semente. Ainda assim atenta-se que esse método de extração pode trazer uma cor escura ao extrato e mais viscosa, sem ser possível a remoção completa do solvente da mistura (KAZMI, 2012).

#### 2.3.1.3 Extração por fluido supercrítico

A extração por fluido supercrítico se dá com meio de gases e líquidos em um sistema onde se desenvolvem pressões e temperaturas cuja fase física gás-líquido não existe mais, encontrando-se numa fase supercrítica (SRIKANTHA, 1980).

Assim nesse estado, o fluido possui melhores características como solvente, que quando misturados a sólidos (como sementes e grãos) difundem-se mais facilmente rendendo maior quantidade de extração. Esse tipo de extração por sua vez é elevada, porém vantajosa, porque se separa facilmente o fluido do óleo, e não há contaminantes, pois o solvente geralmente utilizado é o gás carbônico (OHLSON, 1992).

Tendo em vista essas análises, o óleo produzido através dos vários tipos de extração tem grande vantagem na produção de energia tanto na sua forma de óleo cru, quanto na forma de biodiesel. Verifica-se então a importância de escolher o método que mais se enquadre na situação econômica e social da região. Isso se intensifica ainda mais quando se têm locais onde existe *déficit* em processos de extração, ou ainda em regiões afastadas que necessitam de autossuficiência energética (ABDALLA, 2008).

### 2.3.2 Extração de óleo relacionado com temperatura e umidade relativa

O primeiro processo é o recebimento da matéria prima, que geralmente é feito em grandes quantidades chamada “granel”. Nesta etapa são conferidas as características do produto, como aspectos físicos, impurezas, grãos, umidade em base úmida, qualidade da embalagem. Observa-se ainda a importância da armazenagem dos grãos em silos, para preservar a qualidade do produto da extração, levando em conta a logística de transporte, logística de armazenamento e qualidade de depósito (JASPER et al., 2010b).

Marcos Filho (2005) relata que o armazenamento de grãos é a etapa de maior atracção de valor ao produto final, e que resulta dos recursos de colheita, transporte, para evitar desperdícios.

O segundo processo é a extrusão do grão, o qual tem maior destaque dentro do processo de prensagem, devido aos fatores da umidade relativa dos grãos, temperatura do processo e qualidade do equipamento. Dentro do processo da extrusão, existe a quebra da parede celular do grão, que ocasiona melhores rendimentos e elimina fatores antinutricionais (no entanto, pode se perder, nessa etapa, qualidade nutricional do grão) (MELO, 2010).

O terceiro processo é a prensagem mecânica, que consiste na retirada do óleo da semente através da extrusão do grão por aplicação de pressão, resultando na separação do óleo e da torta. O processo se dá pela prensagem dos grãos que são posicionados em um cilindro, através de um funil, e nesse cilindro existem pequenas barras reguláveis para a saída do óleo. A torta da semente é expelida e a separação ocorre.

O quarto passo é a filtração de óleo bruto que saiu da prensa através do cilindro de extrusão (Figura 3). O filtro faz a purificação do óleo bruto deixando-o livre de impurezas (CUNHA, 2008).

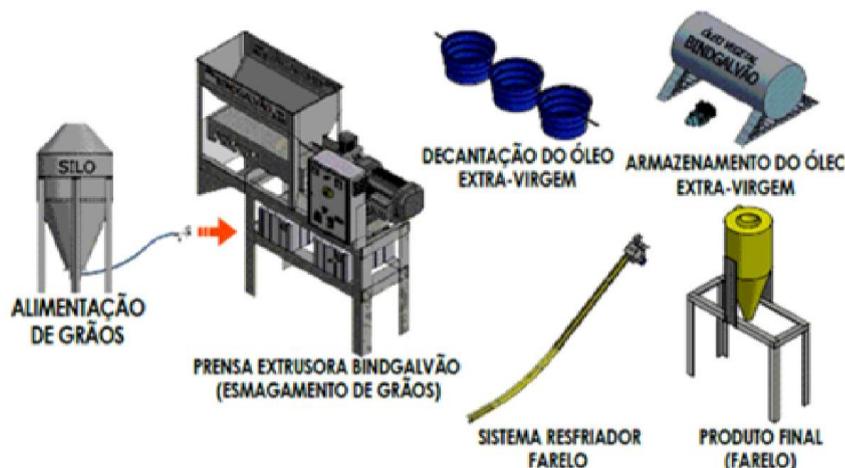


Figura 3: Processos de Extração de óleo vegetal.

Fonte: Adaptado de Bindgalvão (2017).

A umidade relativa do grão é a relação percentual entre a quantidade de água e a massa total de uma amostra, assim é um fator importante, pois o excesso de umidade dos grãos pode causar prejuízos na comercialização do produto, extração de óleo, armazenamento, transporte e outros (FREITAS; NAVES, 2010).

A temperatura e umidade são fatores que afetam o rendimento e a eficiência de extração de óleo em oleaginosas com alto teor de lipídios, como o milho, a soja e o crambe, e valores altos causam baixo rendimento (RODRIGUES FILHO, 2010).

Gomes Júnior (2010) afirmou que é importante prever uma umidade relativa de grãos para extração de óleo, seja por prensa hidráulica, do tipo *expeller*, ou ainda pelo método de solventes. Para melhorar a eficiência das prensas de pequena capacidade, estão sendo realizados estudos de otimização das principais variáveis envolvidas no processo.

Pighinelli et al. (2009) concluíram que a umidade exerce influência na extração do óleo e em seu rendimento como matéria prima, assim quando se reduz a umidade dos grãos, o rendimento em óleo aumenta.

Segundo Mello et al. (2008) a temperatura da extração é o principal fator para o rendimento de óleo, assim como o teor de umidade da semente também é destacável como variável no processo. Esses dois fatores estão ligados ao armazenamento de sementes e transporte.

Silva et al. (2014) avaliaram a qualidade do óleo bruto extraído de grãos de soja armazenados em silos, com teores de 12 a 17 % de umidade relativa com amostras fechadas hermeticamente. Concluíram que em porcentagem maior de

umidade o rendimento com maior teor de umidade foram positivos mesmo sendo de pouca variação.

A prensagem mecânica pode ser utilizada para o óleo de crambe sem necessidade de aquecimento prévio de sementes, porque esse aquecimento é devido à própria pressão dos grãos durante o processo, e isso já se torna suficiente para um bom rendimento. Assim como o crambe tem alto teor de óleo o processo a frio por prensa *expeller* é indicado e facilitado devido seu menor custo (SOUZA et al., 2009);

Pighinelli et al. (2008) relatam sobre os tipos de prensa existentes no mercado, e a facilidade de encontrar prensas do tipo *expeller*, por serem mais baratas e funcionais. Relata-se que o rendimento de óleo para as sementes em geral está associado ao método de extração, a temperatura, e umidade de prensagem e teor de umidade das amostras, e afirmam que o controle desses parâmetros pode aumentar o rendimento de extração.

Singh et al. (2002) constataram que valores elevados de umidade relativa de grãos fazem com que a água presente se transforme em água livre, o que dificulta a fricção entre a massa de grãos e a pressão de extração, assim verifica-se a importância de se definir a porcentagem ótima de teor de água adicionada, para que facilite a prensagem e contribua para o rendimento do óleo.

Pighinelli et al. (2009) observaram que o rendimento do óleo para a canola e o amendoim passou de 73 para 80 %, e, nas sementes de algodão, esse aumento foi de 60 para 65 % quando se manteve uma porcentagem de umidade relativa de 5 %, porém acima desse valor influenciou negativamente a eficiência de extração de óleo.

E igualmente Knothe et al. (2006), onde a menor obtenção de óleo, na ordem de 26 % de teor de umidade, aumentou o valor teórico de óleo para 38 % e elevou a 12 % o rendimento em massa bruta de óleo.

Singh e Bargale (2000) e Mpagalile, Hanna e Weber (2006) testaram o rendimento de uma extrusora com variação de teor de umidade nos grãos e temperatura de extração em grãos de canola e amendoim. Os primeiros testaram umidades relativas de 0 a 11 % alcançando um rendimento ótimo com o teor de umidade nos grãos de 7,5 %, já os segundos atingiram um bom rendimento com 12 % de umidade. Essas umidades foram explicadas de tal forma que o aquecimento

com esse grau de saturação beneficiava a quebra das células de óleo, e a diminuição da viscosidade, o que tornava o fluxo de óleo mais fácil.

## **2.4 Parâmetros físico-químico do óleo do crambe**

As análises físico-químicas fazem parte de um conjunto de técnicas para modelagem de estruturas e avaliação de parâmetros. Ênfases são dadas a determinadas características as quais se deseja analisar, adotando conjunto de técnicas específicas para tal fim, as quais abordam métodos e procedimentos diversos (RODRIGUES FILHO, 2010).

Essas análises provindas de processos experimentais se relacionam com os estados físicos da matéria, provindos de um estudo amostral adequado, observando as excitações do fenômeno o qual se quer observar dependendo das propriedades internas da amostra (ANTONIASSI; CONCEIÇÃO; POLETTI, 2010).

Dentro dos mais variados processos analíticos de amostras destacam-se três: (i) análise de contaminações, as quais indicam contaminação por agentes externos ou reações químicas; (ii) análise de espectrometria, a qual identifica os componentes químicos presentes em nível atômico; (iii) análise físico-química, a qual identifica propriedade dos materiais devido características físicas e químicas (ANTONIASSI; CONCEIÇÃO; POLETTI, 2010).

A análise dos óleos vegetais através dos vários parâmetros como índice de acidez, índice de peróxido, índice de iodo, densidade, viscosidade ou determinação de composição química da torta, são fundamentais para classificar a característica dos óleos (CERT; MOREDA; PEREZ CAMINOS, 2000).

### **2.4.1 Índice de Acidez**

A acidez é uma das formas de deterioração de alimentos compostos por lipídeos como os óleos vegetais, isso quando expostos a luz e o calor, se manifesta alterações químicas nas moléculas de hidrogênio da substância utilizando como composto oxidativo o oxigênio presente no ambiente (HAMMOND

et al., 2005).

É dividida em duas formas: a rancidez oxidativa, a qual é a auto-oxidação de triglicerídeos com reagente oxigênio presente no meio, e a rancidez hidrolítica, que é a quebra dos lipídeos se transformando em ácidos graxos livres quando há presença de água livre (SHAHIDI; ZHONG, 2005).

Além do desenvolvimento de aromas e odores, esse tipo de processo químico causa o aumento da viscosidade do óleo vegetal devido à concentração de radicais livres no óleo, além de escurecimento e aumento na quantidade de fumaça quando submetido a maiores temperaturas (180 °C) (O'BRIEN et al., 2000).

Esses tipos de exteriorização são diretamente proporcionais à quantidade de reagente (O<sub>2</sub>) presente na atmosfera, e da temperatura de armazenamento das amostras e presença de água livre. A cada aumento na variação de 10 °C a reação duplica de velocidade reativa (OSAWA; GONÇALVES, 2006).

O método avaliativo mais frequentemente utilizado para avaliar a rancidez hidrolítica é o índice de acidez, onde se mede a composição da amostra em relação à composição de ácidos graxos livres. Assim, em uma amostra de 1 grama verifica-se o número de miligramas de KOH para neutralizar os ácidos graxos com a fenolftaleína como indicador durante o processo (SANTOS et al., 2013; BOUAID; MARTINEZ; ARACIL, 2009).

Os ácidos graxos livres representam em um óleo aumento do índice de acidez, então, o crambe, por possui grande quantidade de ácidos graxos, apresenta médias de índice de acidez elevada se comparado a outras oleaginosas (ONOREVOLI, 2012).

Costa (2006) afirma que o girassol possui o maior índice de acidez dentre as culturas analisadas, com valores de até 9 mg g<sup>-1</sup> de KOH, seguido do óleo de mamona com até 4 mg g<sup>-1</sup> de KOH, e do menor de todos, sendo o óleo de Babaçu, com valor de 0,002 mg g<sup>-1</sup> de KOH (Tabela 4).

Tabela 4: Índices de acidez de óleos vegetais

<b>Óleo vegetal</b>	<b>Índice de acidez (mg g<sup>-1</sup> de KOH)</b>
<b>Algodão</b>	0,25
<b>Pinhão-manso</b>	0,96
<b>Mamona</b>	4,0
<b>Babaçu</b>	0,002
<b>Amendoim</b>	0,84
<b>Gergelim</b>	0,2 - 0,3
<b>Girassol</b>	5,8 - 9,0
<b>Soja</b>	0,1 - 0,3

Fonte: Costa (2006).

Pighinelli (2010) avaliou as características físico-químicas de sementes de amendoim, algodão e girassol, e encontrou os valores de índice de acidez respectivamente de 0,56, 7,26 e 2,81 mg g<sup>-1</sup> de KOH.

Silva et al. (2013a) avaliaram a qualidade do óleo bruto de crambe secos em diferentes formas e concluíram que a média de acidez do óleo foi de 0,43 mg g<sup>-1</sup> de KOH. Os autores afirmaram ainda que, para produzir biodiesel com óleos vegetais deve-se ter uma porcentagem menor que 3,0 % de ácidos graxos livres, para que não ocorra a saponificação.

Santos (2016) avaliou os índices físicos do óleo bruto de crambe com e sem casca, e obteve os valores médios do índice de acidez de 0,25 mg g<sup>-1</sup> de KOH para grãos com casca e de 0,19 mg g<sup>-1</sup> de KOH para grãos sem casca. Esses valores obtidos no início do armazenamento estão de acordo com os parâmetros estipulados pela Resolução RDC nº 270, de 22 de setembro de 2005, da AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA, 2005), que indica que o limite máximo estipulado para o índice de acidez para óleos prensados a frio e não refinados é de 4,0 mg g<sup>-1</sup> de KOH (CARDOSO, 2005).

Segundo Onorevoli, Jacques e Caramão (2011) os índices de acidez médios do crambe bruto provindos das extrações com temperaturas de 80 a 100 °C e umidade relativa de 2 a 8 % foram de 8,5 mg g<sup>-1</sup> de KOH. Valores estes que não

estão de acordo com os estabelecidos pela Agência Nacional Do Petróleo (ANP< 2003) na Resolução nº 7, que estabelece que o limite máximo estipulado para índice de acidez é de  $0,5 \text{ mg g}^{-1}$  de KOH.

Bezerra (2014) avaliou o índice de acidez do crambe armazenado e encontrou valores médios de 0,41, 1,88 e  $2,87 \text{ mg g}^{-1}$  de KOH para o controle, 6 anos e 12 anos, respectivamente, indicando que o índice de acidez aumentava devido armazenamento ao longo do tempo. Verifica-se que o óleo bruto de crambe apresenta um elevado índice de acidez, devido à presença de ácidos graxos livres, água, fosfolipídios ou ceras (ONOREVOLI, 2012).

Melo (2010) conclui sobre o índice de acidez médio do crambe como sendo  $2,09 \text{ mg g}^{-1}$  de KOH, comparando também com o amendoim ( $2,69 \text{ mg g}^{-1}$  de KOH), gergelim ( $4,24 \text{ mg g}^{-1}$  de KOH), linhaça ( $3,43 \text{ mg g}^{-1}$  de KOH) e pinhão manso ( $0,98 \text{ mg g}^{-1}$  de KOH).

Jasper et al. (2010b) estudando a qualidade do óleo de crambe produzido em plantio direto, encontraram um índice de acidez de  $3,64 \text{ mg g}^{-1}$  de KOH.

Silva et al. (2013b) encontravam valores médios de índice de acidez em óleo bruto de crambe em diferentes tipo de secagem: secagem com ar aquecido, secagem com ar natural, secagem em terreiro, secagem a sombra e secagem na planta respectivamente de 0,61; 0,51, 0,61; 0,45 e  $0,43 \text{ mg g}^{-1}$  de KOH.

Assemelha-se aos encontrado em outras culturas,  $0,104 \text{ mg g}^{-1}$  de KOH para óleo de soja,  $0,703 \text{ mg g}^{-1}$  de KOH para sebo bovino e  $0,684 \text{ mg g}^{-1}$  de KOH para gordura de frango (CUNHA, 2008).

Cunha (2008) ainda sugere que análises nos grãos ajudam a explicar que o índice de acidez de um óleo decorre da hidrólise parcial dos triglicerídeos, e por essa razão o índice de acidez é uma variável que leva em conta as condições de conservação dos óleos.

#### 2.4.2 Umidade do óleo

A água se faz presente molecularmente em todos os processos da extração de óleo tanto em forma de água livre, quanto componente molecular. Pode-se diferenciar a presença de umidade em uma substância como umidade superficial,

externa a substância, e adsorvida, ligada no alimento molecularmente (PINHEIRO; PORTO; MENEZES, 2005).

A umidade representada pela perda de massa quando aquecido é desconsiderada, porque muitas outras substâncias também volatizam em condições de aquecimento, que é geralmente feito em temperaturas de 105°C. Usualmente o método utilizado é o de Karl Fischer, baseado na redução de iodo pelo dióxido de enxofre solubilizado em água, ambos em uma titulação determinativa (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

#### 2.4.3 Massa Específica

A massa específica ou também densidade absoluta é uma grandeza física que relaciona massa de uma substância pelo seu volume. Dentro do Sistema Internacional de Unidades a unidade padrão para massa é quilograma (kg) e para volume é o metro cúbico ( $m^3$ ). A relação entre substância e corpo se difere em termos que a massa específica caracteriza a substância fluída e a densidade caracteriza o corpo, sendo ambas expressas em ( $kg\ m^{-3}$ ) ou qualquer outra unidade que expressa massa por volume (EISBERG; RESNIK, 1988).

Essa grandeza, que relaciona massa e volume, expressa matematicamente quanto de massa ocupa certo volume, ou seja, corpos com mesma massa terão densidades diferentes caso ocupem volumes diferenciados. Se um corpo com determinada massa ocupa um volume menor, conseqüentemente terá uma densidade maior, pela invisibilidade proporcional das grandezas (DANKOWSKA et al., 2013).

Quando se referencia aos motores, geralmente utiliza-se a densidade como forma de avaliação tendo em vista a quantidade de massa injetada por unidade de volume, óleos mais densos tem maior capacidade de queima (SILVA et al., 2013a).

Bezerra (2014) analisou o crambe armazenado em três ambientes ao longo do tempo verificando também a massa específica a temperatura de 20 °C com média de valores de 910  $kg\ m^{-3}$ . Igualmente esse mesmo valor foi obtido por Jasper et al. (2010a) e Silva et al. (2013b).

Costa (2004) observou que as densidades de duas cultivares de mamona estão na faixa de 930 a 978 kg m<sup>-3</sup> para temperaturas variando de -15 a 80 °C. Verificando que a massa específica diminui proporcionalmente com o aumento da temperatura e esses valores são praticamente os mesmos para ambas as cultivares de mamona dentro de cada temperatura.

#### 2.4.4 Viscosidade Cinemática

A viscosidade é uma grandeza física que mede a resistência oferecida pelo fluido (líquido ou gás) a escoar. Seu controle se deve na importância do óleo ser capaz de escoar dentro de equipamentos executando sua função, sem causar danos a peças e utensílios, sendo que está diretamente ligada a presença de número de insaturações lipídicas e presença de ácidos graxos, ou seja, a viscosidade diminui com o aumento de insaturações, e aumenta caso exista ácidos graxos livres (HAMMOND et al., 2005; AZÊVEDO et al., 2003).

Viscosidade cinemática está relacionada com o teor de ácidos graxos não reagidos, aumentando conforme aumenta a cadeia do éster e com o grau de saturação. Entre as propriedades físicas, a viscosidade é uma das mais importantes, já que afeta a atomização do combustível na câmara de combustão podendo provocar, entre outros problemas, a formação de depósitos (MIRANDA; ARAÚJO; MOTHÉ, 2010).

Costa (2006) afirma que a viscosidade diminui com o aumento de temperatura de 37,8 a 70 °C (Tabela 5). A 70 °C a maior viscosidade no óleo de mamona corresponde a 52 mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>, e a menor para a cotieira com 9,2 mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>. Já a 37,8 °C os maiores e menores valores de viscosidade se dão para as mesmas culturas, sendo mamona com 285 mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> e cotieira com 25,8 mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>.

Melo (2010) observou que o comprimento das cadeias graxas e o grau de insaturação de um óleo vegetal determinam variações nos valores de viscosidade. Encontrou assim valores para a viscosidade cinemática para o amendoim, babaçu, e buruti, com os valores respectivos de 37,71, 31,41 e 41,78 mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>.

Tabela 5: Viscosidade cinemática de óleos vegetais

ÓLEO	37,8 °C	50,0 °C	60,0 °C	70,0 °C
	mm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>			
<b>Macaúba</b>	50	30	20,2	14,7
<b>Pinhão-manso</b>	31,5	19,8	14,0	10,5
<b>Índia-rasteiro</b>	45,0	27,8	19,2	14,3
<b>Piqui</b>	47,0	28,2	19,8	14,0
<b>Tinquí</b>	41,0	25,0	17,5	12,8
<b>Buriti</b>	35,0	21,8	15,4	11,5
<b>Dendê</b>	43,0	27,0	18,5	13,5
<b>Mamona</b>	285,0	140,0	82,0	52,0
<b>Babaçu</b>	36,5	23,0	16,2	12,0
<b>Cotieira</b>	25,8	16,7	12,0	9,2

Fonte: Costa (2006).

## 2.5 Análises Bromatológicas da Torta de Crambe

As análises bromatológicas compreendem o estudo dos componentes presentes nos alimentos, sendo eles as estruturas químicas presentes geralmente em grande quantidade (concentração maior que 1 %). Entre eles estão às proteínas, às gorduras, os carboidratos e cinzas (PINHEIRO; PORTO; MENEZES, 2005).

Divide-se em análises quantitativas e qualitativas, onde a primeira verifica-se a concentração geralmente em massa de um reagente específico, enquanto na segunda verifica-se a presença ou ausência de determinado componente (BRÁS, 2011).

Os subprodutos obtidos de uma extração mecânica de alguma cultura oleaginosas são o óleo vegetal, a torta e o farelo. Os farelos resultantes de extração por solvente geram resíduos com menor teor de óleo, quando comparados aos das tortas. Assim identifica-se que as prensagens mecânicas, mesmo com menor eficiência de retirada do óleo ainda são viáveis por não

dependem das exigências de instalações e de segurança inerentes ao processamento com uso de solvente (NEIVA JÚNIOR et al., 2007).

Para Pinheiro, Porto e Menezes (2005) a estrutura organizacional de uma análise bromatológica se inicia com a escolha de uma oleaginosa para realizar a manufatura da torta, seja por extração mecânica, prensagem hidráulica ou solventes (Figura 4). Em seguida o subproduto (farelo ou torta) é separado em sua matéria seca orgânica (proteína, fibra bruta, extrato etéreo, carboidratos e cinzas) e matéria seca inorgânica (compostos químicos como fósforo, nitrogênio e cálcio).

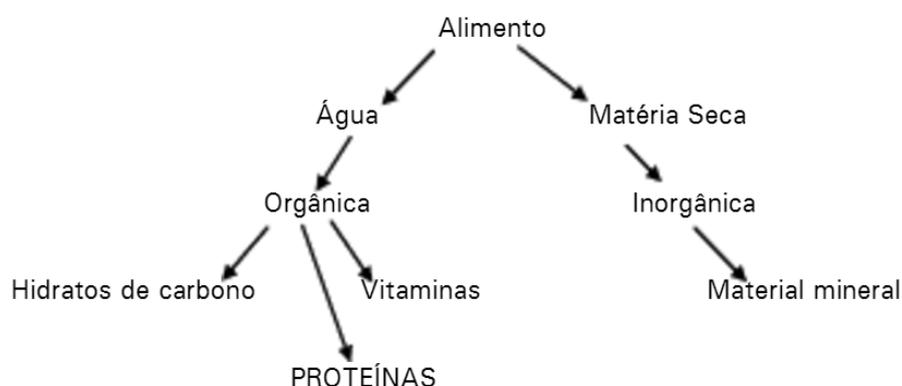


Figura 4: Organograma organizacional de Análises Bromatológicas

Fonte: Pinheiro, Porto e Menezes (2005).

Verifica-se que as porcentagens de matéria seca (%) em extração no crambe não são muito diferentes entre si. Segundo Brás (2011) as extrações de óleo dependem da umidade e temperatura variando assim a porcentagem de matéria seca (Tabela 6).

Tabela 6: Porcentagens de matéria seca segundo diferentes autores

Matéria Seca (%)	BRÁS (2011)	CARRERA et al. (2012)	SOUZA et al. (2009)	SOUZA (2008)	SILVA et al. (2013a)
<b>Torta Crambe</b>	92,72	86,37	91,18	91,61	92,3

Fonte: Brás (2011); Carrera et al. (2012); Souza et al. (2009); Souza (2008); Silva et al. (2013a).

Brás (2011) determinou a composição química da torta e do óleo de crambe resultantes da prensagem mecânica, chegando a resultados de 92,72 % de

matéria seca.

Carrera et al. (2012) avaliaram as características químicas das tortas resultantes da produção de vários óleos encontrando especificamente para o crambe valores de 86,37 % de matéria seca, enquanto Souza et al. (2009), obtiveram valores de 91,18 % de matéria seca para o crambe, 93,76 % de matéria seca para o pinhão-manso e 92,10 % para o nabo-forageiro, com a prensagem mecânica.

Silva et al. (2013b) verificaram e avaliaram o desempenho, a digestibilidade e os parâmetros sanguíneos de cordeiras alimentadas com teores dietéticos crescentes de torta de crambe, com matéria seca de 92,3 %.

### 2.5.1 Fibra Bruta

Fibras, por definição, são as fitas ou feixes orgânicos de substâncias animais ou vegetais que são caracterizadas por uma elevada resistência física e insolubilidade em meio aquoso, geralmente utilizadas para qualificação de ração alimentar (HELLER; EOBEE, 1939).

A fibra bruta caracteriza o resíduo orgânico obtido em certas condições de extração como a de óleos vegetais, e pode ser denominada torta. Pode ser definido ainda como os componentes da parede celular vegetal que pode ser incluída em dieta sem grandes agravos, ou seja, todos os polissacarídeos exceto o amido que é digerível (JASPER et al., 2010b).

Segundo Brás (2011) as extrações de óleo dependem da composição do grão, e podem influenciar na quantidade de fibras (Tabela 7).

Tabela 7: Porcentagens de fibra bruta segundo diferentes autores

Fibra Bruta (%)	BRÁS (2011)	CARRERA et al. (2012)	SOUZA et al. (2009)	SOUZA (2008)	SILVA et al. (2013a)
<b>Torta Crambe</b>	29,34	27,64	15,32	13,32	33,0

Fonte: Brás (2011); Carrera et al. (2012); Souza (2009); Souza (2008); Silva et al. (2013a).

Silva et al. (2013a) obtiveram valores com porcentagens de fibra bruta de 33

%. A quantidade de fibra alimentar no grão e na torta foi maior no pinhão-manso 12,05 %, seguido pelo crambe 10,0 % e pelo nabo-forrageiro 9,87 %, devido à presença de uma casca rica em fibras nos dois primeiros grãos avaliados.

Carlson e Tookey (1983) relataram que os teores de fibra bruta em crambe foram de 14,3, 3,6 e 22,1 % para grãos inteiros, descascados e para a casca, respectivamente, o que demonstra o acúmulo de fibras na parte mais externa do grão.

Carrera et al. (2012) e Lunelli et al. (2013) encontraram as características químicas das tortas resultantes da produção de óleo de 27,64 % de fibra bruta para o crambe, enquanto Souza et al. (2009) encontrou 15,32 % de fibra bruta para o crambe.

#### 2.5.2 Lipídios ou Extrato Etéreo

Lipídeos são determinados por extração por solventes em análises físico-químicas em óleos, usualmente sendo o éter utilizado os compostos extraídos por solventes podem ser lipídeos, ácidos graxos livres, lecitinas, ceras e outros componentes derivados de óleos. A denominação de lipídeos ou extrato etéreo se difere apenas na nomenclatura e na concentração de ambos, sendo que a primeira denominação vem de amostras com concentrações menores de gorduras, enquanto a segunda provém de produtos com teores maiores de lipídeos (JASPER et al., 2010b).

Brás (2011) encontrou valores de extrato etéreo em sementes de crambe de 29,60%, e verificou que os valores diferiram provavelmente, devido ao alto teor de extrato etéreo presente na semente utilizada no experimento provinda de uma safra distinta dos demais autores (Tabela 8). A média maior de concentração de lipídeos foram também constatados por Heller (1996) e concluiu-se que os teores de lipídeos se diferiam devido à origem dos grãos que nesse estudo provinham de uma região que se obtinham grãos com maiores quantidades lipídicas.

Tabela 8: Porcentagens de extrato etéreo na torta de crambe segundo diferentes autores

<b>Extrato Etéreo (%)</b>	<b>BRÁS (2011)</b>	<b>CARRERA et al. (2012)</b>	<b>SOUZA et al. (2009)</b>	<b>SOUZA (2008)</b>	<b>SILVA et al. (2013a)</b>
<b>Torta Crambe</b>	29,60	18,40	15,88	44,10	28,0

**Fonte:** Brás (2011); Carrera et al. (2012); Souza (2009); Souza (2008); Silva et al. (2013a).

### 2.5.3 Proteína Bruta

A proteína é um composto orgânico presente em qualquer tipo de substância, e tem função estrutural no esqueleto, musculatura, tecidos de todos os sistemas humanos, agindo como nutrientes metabólicos através de membranas e fluídos biológicos (PINHEIRO; PORTO; MENEZES, 2005).

São compostos por aminoácidos e derivados de quaisquer compostos orgânicos, incluindo torta provinda da extração de óleos vegetais. A análise de proteínas em farelos de extração baseia-se principalmente na dedução de teores de nitrogênio, principal composto dos aminoácidos, em um processo de transformação do nitrogênio em amônia (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

Mendonça (2012) fez a diferenciação entre proteína bruta de torta e farelo de crambe, a primeira tem o valor de 35,0 %, e já a segunda tem 27,5 % de composição.

Brás (2011) encontrou valores de proteína bruta em sementes de crambe de 24,67 % e concluiu que as tortas de cártamo, nabo forrageiro, girassol e crambe possuem características nutricionais que as qualificam como potenciais fontes de proteína para ovinos (Tabela 9).

Carrera et al. (2012), avaliando o perfil químico da proteína bruta em soja, girassol amendoim e crambe encontraram os valores respectivos de 93,15, 94,87 32,61 %, relatando que os menores valores da torta de crambe são devido à composição química da semente que comparada às outras culturas têm menos porcentagem de proteína.

Tabela 9: Porcentagens de proteína bruta segundo diferentes autores

<b>Proteína Bruta (%)</b>	<b>BRÁS (2011)</b>	<b>CARRERA et al. (2012)</b>	<b>SOUZA et al. (2009)</b>	<b>SOUZA (2008)</b>	<b>SILVA et al. (2013a)</b>	<b>MENDONÇA (2012)</b>
<b>Torta Crambe</b>	24,67	32,61	31,73	21,30	9,2	35,0

**Fonte:** Brás (2011); Carrera et al. (2012); Souza et al. (2009); Souza (2008); Silva et al. (2013a), Mendonça (2012).

O teor de proteínas em oleaginosas pode variar com os genótipos e as condições ambientais, além de ser dependente da eficiência de extração de óleo, o que permitiria variações como as observadas (MOSSE; BAUDET, 1983).

#### 2.5.4 Amidos/Carboidratos

Dentro dos grandes grupos das moléculas orgânicas estão os carboidratos como maiores fontes de energia, sendo também denominados como hidratos de carbono, amidos ou açúcares. Dentro de suas vantagens nutricionais, os carboidratos fazem parte da síntese proteica, fonte energética, preservação de massa magra (proteínas), proteção contra cetônicos (PINHEIRO; PORTO; MENEZES, 2005).

Carrera et al. (2012), avaliando o perfil químico dos carboidratos em soja, girassol, amendoim e crambe encontraram os valores respectivos de 14,50, 2,78, 0,85 e 9,76 %, relatando que os menores valores da torta de crambe comparado com a soja são devido à composição química da semente que comparada às outras culturas têm menos porcentagem de amidos.

Tabela 10: Porcentagens de amido em crambe segundo diferentes autores

<b>Amidos (%)</b>	<b>BRÁS (2011)</b>	<b>CARRERA et al. (2012)</b>	<b>SOUZA et al. (2009)</b>	<b>SOUZA (2008)</b>	<b>SILVA et al. (2013a)</b>
<b>Torta Crambe</b>	12,75	9,76	14,75	14,75	5,1

**Fonte:** Brás (2011); Carrera et al. (2012); Souza et al. (2009); Souza (2008); Silva et al. (2013a).

### 2.5.5 Resíduo Mineral Fixo e Umidade da Torta

Durante o processo de extração da torta pela prensa extrusora, ocorre um aquecimento da semente ou grão assim podendo elevar a temperatura da torta também. Esse aumento de temperatura indireta pode acarretar no aparecimento de resíduos minerais fixos chamados de cinzas. Geralmente as cinzas são obtidas por ignição total ou parcial de certa quantidade de amostra de torta ou substâncias (TORRES, 2000; MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2005).

Brás (2011) determinou a composição química das tortas resultantes da prensagem de várias culturas oleaginosas, incluindo o crambe, e verificou que as extrações de óleo dependem da umidade e temperatura variando assim a porcentagem de cinzas de 5,47%.

Carrera et al. (2012) avaliaram as características químicas das tortas resultantes da produção de vários óleos encontrando especificamente para o crambe valores de 5,01 % de teor de cinzas, enquanto Souza et al. (2009), após a extração do óleo por prensagem mecânica chegou a valores de 6,30 % de teor de cinzas para o crambe.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da Área Experimental

O experimento foi realizado no ano de 2017, em Cascavel, Paraná, no laboratório do Centro de Desenvolvimento e Difusão Tecnológico em Energias Renováveis (CDTER-PR) em parceria com a Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Fundetec), Universidade Federal da Integração Latino-Americana (Unila) e com a Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste). A área de estudo está localizada no município de Cascavel, na região Oeste do estado do Paraná, entre as coordenadas geográficas de 24° 57' 21" S e 53° 27' 19" W e altitude média de 781 metros.

O clima da região do município de Cascavel é classificado como Clima subtropical (Cfa), onde a temperatura média no mês mais frio é inferior a 18 °C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22 °C, com verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida (SIMEPAR, 2017).

#### 3.2 Caracterização da Matéria-Prima

As sementes de crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) utilizadas foram gentilmente cedidas pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), campus de Cascavel em parceria com o Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR) de Santa Tereza do Oeste.

#### 3.3 Prensa utilizada para extração de óleo de crambe

O método de extração de óleo das sementes foi realizado pelo processo de extração mecânica por prensa do tipo *expeller* (Figura 5).



Figura 5: Prensa *Expeller* para extração de óleo de crambe.  
 Fonte: Autor (2017).

O modelo da prensa utilizado foi 7590- B100 (Figura 6) desenvolvida para extração de óleo e farelo tostado de várias sementes de oleaginosas, sem utilizar compostos químicos e com um baixo consumo energético (BINDGALVÃO, 2017).

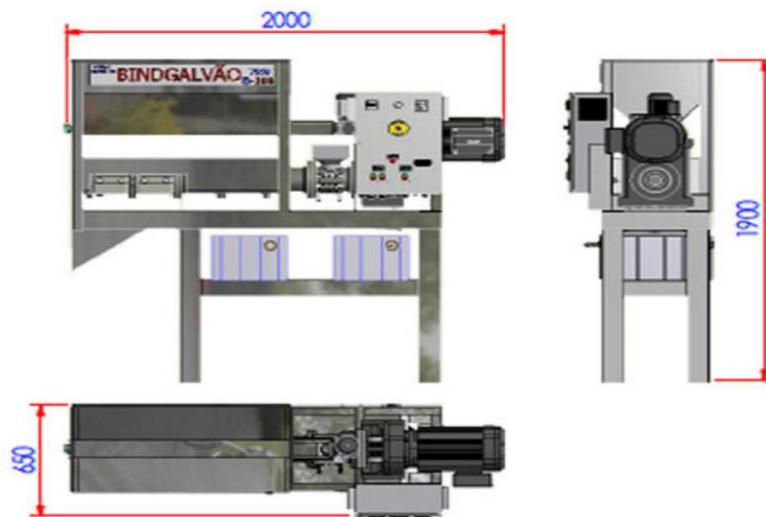


Figura 6: Prensa Extrusora  
 Fonte: Bindgalvão (2017).

### 3.4 Extração mecânica do óleo das sementes de crambe

A extração mecânica do óleo de crambe foi realizada por prensagem a frio utilizando a prensa, modelo 7590-B100 com capacidade de processamento de 3000 kg dia<sup>-1</sup>, sendo devidamente ajustados à oleaginosa em estudo por meio da

distribuição de espaçadores entre os 12 discos que compõem a câmara de compressão (Tabela 11).

Tabela 11: Características da prensa mecânica

<b>Componentes</b>	<b>Equipamento 7590-B100</b>
<b>Máquina</b>	11 kW
<b>Alimentação com Inversor</b>	0,11 kW
<b>Resfriador de Farelo</b>	1,5 kW
<b>Filtro de prensa</b>	0,37 kW
<b>Motores</b>	Trifásico
<b>Produção</b>	2400 a 3000 kg dia <sup>-1</sup>

Fonte: Bindgalvão (2017).

### 3.5 Determinação dos Parâmetros de Umidade Relativa e Temperatura

#### 3.5.1 Umidade base úmida

As sementes de crambe utilizadas para extração e análise dos dados primeiramente foram submetidas a uma verificação de umidade base úmida a qual é condicionada ao tipo e ao tempo de armazenamento da semente.

Foi constatado um valor de 12,02 % de umidade base úmidas com desvio padrão de 0,12 para a amostragem geral, considerando um ambiente laboratorial de 40 % de umidade relativa do ar. Assim a partir da umidade base úmida aplicou-se a metodologia de adição de água para extração criando-se a umidade relativa.

#### 3.5.2 Umidade Relativa e Temperatura

Os tratamentos foram gerados a partir de um esquema com três repetições, Sendo o delineamento experimental casualizado em quatro teores de umidade relativas de água adicionada (0 (testemunha), 2, 3,5, 5%) e quatro faixas de temperatura (80, 100, 120, 140 °C) para a extração de óleo e torta da semente de

crambe (Tabela 12).

As faixas de temperatura tiveram seu valor descrito pela temperatura de início da faixa, sendo 80 °C temperatura de oitenta graus Celsius com um intervalo de vinte graus Celsius, ou seja até a temperatura de 90 °C, assim sucessivamente até a temperatura final de amostragem. Esses intervalos foram ajustados de acordo com a variação da prensa de modo que pudesse controlar a variável temperatura.

A porcentagem de umidade refere-se à umidade relativa do grão quanto à água livre presente na amostra a qual foi adicionada para aperfeiçoar o processo de extração. Sendo 0,0 (testemunha), 2,0, 3,5 e 5,0 % de umidade adicionada/relativa (Tabela 12).

A umidade adicionada dos grãos foi analisada, juntamente com os valores de entre 0% e 5% de umidade adicionada foram constatados nos mais diversos autores, medindo primeiramente a umidade real do grão (umidade base úmida), e acrescentando porcentagens de água para a extração (umidade relativa).

Tabela 12: Caracterização dos quatro teores de umidade relativa e cinco temperaturas da extração de óleo e torta de crambe

Temperatura (°C)	Amostra A (0,0 %)	Amostra B (2,0 %)	Amostra C (3,5 %)	Amostra D (5,0 %)
<b>80 - 100</b>	3000 g crambe 0,0 g de água	3000 g crambe 60 g de água	3000g crambe 105 g de água	3000g crambe 150 g de água
<b>100 - 120</b>	3000 g crambe 0,0 g de água	3000 g crambe 60 g de água	3000g crambe 105 g de água	3000g crambe 150 g de água
<b>120 - 140</b>	3000 g crambe 0,0 g de água	3000 g crambe 60 g de água	3000g crambe 105 g de água	3000g crambe 150 g de água
<b>140 - 160</b>	3000 g crambe 0,0 g de água	3000 g crambe 60 g de água	3000g crambe 105 g de água	3000g crambe 150 g de água

### 3.6 Métodos Físico-Químicos De Análise

#### 3.6.1 Rendimento de óleo bruto (REMóleo%)

Após a prensagem, o óleo permaneceu em repouso durante cinco dias para

a decantação dos resíduos e para posterior filtração em papel de filtro.

O rendimento do processo de extração foi obtido pela relação entre a massa de sementes que entrou no processo e a massa de óleo obtido após o processo de filtração, segundo a Equação 1 do Instituto Adolfo Lutz (2008).

$$REM_{\text{óleo}(\%)} = \frac{m_1 \cdot 100}{m_2} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

- $REM_{\text{óleo}(\%)}$ : representa o rendimento da extração mecânica;
- $m_1$ : representa a massa de óleo obtida após filtração;
- $m_2$ : representa a massa total de sementes da alimentação do processo.

### 3.6.2 Índice de Acidez (IA)

O índice de acidez foi determinado pelo método que utiliza como solução titulante, o hidróxido de sódio 0,1 mol e fenolftaleína como indicador, segundo metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008), conforme Equação 2.

$$IA = \frac{v \cdot f \cdot 100}{P} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

- v: representa número de mL de solução de hidróxido de sódio 0,1 mol gasto na titulação;
- f: representa fator da solução de hidróxido de sódio;
- P: representa número de gramas da amostra.

### 3.6.3 Umidade do óleo (U%)

A umidade do óleo vegetal foi determinada a partir do método Cc 17-95 previsto pela *American Oil Chemistry Society* (AOCS, 2008).

Primeiramente ligou-se a estufa termostaticada à 130 °C, colocando a capsula com 5 gramas do óleo vegetal anotando sua massa durante 30 minutos iniciando a contagem após a estabilização da temperatura, com consequente pesagem final da amostra aguardando sua temperatura ambiente, quando a diferença entre a massa antes e depois da secagem foi superior a 0,05 % da massa da amostra. Realizou-se outra secagem de 30 minutos e reavaliou as massas até que não excedesse o limite mencionado. O cálculo foi realizado pela Equação 3.

$$U\% = \frac{((PC + PA) - PF).100}{PA} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

- PC: representa a massa da cápsula vazia;
- PF: representa a massa da placa com a amostra após secagem;
- PA: representa a massa da amostra em gramas

### 3.6.4 Massa Específica ( $\rho$ )

Determinou-se a densidade aparente das sementes de crambe, de acordo com o método descrito por Instituto Adolfo Luiz (2008).

Pesou-se 1 kg da amostra de sementes de crambe em uma proveta de 1000  $\pm$  10 mL e esta foi colocada sob vibração em um agitador (Marca Bertel) durante 5 segundos. Após esta operação, o volume ocupado foi lido e a relação entre a massa e o volume ocupado foi determinada ( $\text{kg m}^{-3}$ ) representada pela Equação 4.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

- $\rho$ : representa a massa específica em  $\text{kg m}^{-3}$ ;
- $m$  é a massa da amostra em gramas;
- $v$  o volume em  $\text{cm}^3$ .

### 3.6.5 Viscosidade Cinemática ( $\nu$ )

Para a determinação da viscosidade das diferentes amostras de óleo de crambe foi utilizado um viscosímetro da marca Brookfield (Modelo LVDV-III+).

O instrumento é equipado com cilindros de diâmetros diferentes (*spindles*), em que é utilizado o cilindro adequado conforme a viscosidade do fluido. Para os óleos utilizados neste trabalho foi utilizado um cilindro de diâmetro externo de 100 mm (*Spindle* de referência S-28).

O viscosímetro foi acoplado a um banho termostático, permitindo assim mensurar a viscosidade dos óleos no intervalo de 20 °C, com precisão na temperatura de 0,5 °C.

Cabe ressaltar que no viscosímetro de Brookfield Instituto Adolfo Lutz (2008), são efetuadas leituras de viscosidade automaticamente à cada temperatura, variando-se a velocidade de rotação do cilindro (torque) até o limite máximo estabelecido, e ao atingir o valor de topo desta variável, medidas são efetuadas com o decréscimo desta. Os valores de viscosidade reportados neste trabalho referem-se de fato a valores médios, obtidos por triplicata de leitura do equipamento em cada valor de velocidade de rotação especificada.

## 3.7 Métodos Bromatológicos de Análise

### 3.7.1 Rendimento de Torta (REM<sub>torta</sub>(%))

A torta também foi avaliada pelo Rendimento Extração Mecânica, visto que o porcentual o REM é um valor menor do que cem por cento, assim o restante do

percentual é o rendimento da torta, conforme a Equação 5 descrito por Instituto Adolfo Luiz (2008).

$$REM_{torta(\%)} = 100\% - REM_{\acute{o}leo(\%)} \quad (\text{Equa\c{c}\~{a}o 5})$$

Onde:

-  $REM_{torta(\%)}$ : Rendimento da extra\c{c}\~{a}o mec\~{a}nica da torta.

### 3.7.2 Fibra Bruta (FB%)

O procedimento ocorreu da seguinte forma: pesou-se 2 gramas da amostra, e se fez a extra\c{c}\~{a}o continua em aparelho de Soxhlet, usando \acute{e}ter como solvente. Ap\~{o}s isso, filtrou-se e se aqueceu em estufa, pesando e repetindo as opera\c{c}\~{o}es de aquecimento e resfriamento at\~{e} peso constante, segundo a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008), conforme Equa\c{c}\~{a}o 6.

$$FB\% = \frac{100.N}{P} \quad (\text{Equa\c{c}\~{a}o 6})$$

Onde:

- N = n\~{o} de g de fibra;

- P = n\~{o} de g da amostra.

### 3.7.3 Extrato Et\~{e}reo (EE%)

Segundo o Instituto Adolfo Lutz (2008) pesou-se 2 a 5 g da amostra em cartucho de soxhlet ou em papel de filtro e em seguida foi amarrado com fio de l\~{a} previamente desengordurado.

No caso de amostras l\~{i}quidas, \acute{e} necess\~{a}rio pipetar o volume desejado, esgotando em uma por\c{c}\~{a}o de algod\~{a}o sobre um papel de filtro. Manteve-se o

aquecimento e a extração contínua por 8 (quatro a cinco gotas por segundo) ou 16 horas (duas a três gotas por segundo). Em seguida colocou-se em dessecador até a temperatura ambiente. As operações de aquecimento foram realizadas por 30 minutos na estufa e resfriamento até peso constante (no máximo 2 h), representada pela Equação 7.

$$EE\% = \frac{100.N}{P} \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

- N: representa o número de gramas de lipídios;
- P: representa o número de gramas da amostra.

#### 3.7.4 Proteína (PB%)

A determinação de proteínas, descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (2008), baseou-se na determinação de nitrogênio, geralmente feita pelo processo de digestão Kjeldahl. A matéria orgânica foi decomposta e o nitrogênio existente e finalmente transformado em amônia. Sendo o conteúdo de nitrogênio das diferentes proteínas aproximadamente 16 %, introduziu-se o fator empírico 6,25 para transformar o número de g de nitrogênio encontrado em número de g de protídeos, representada pela Equação 8.

$$PB\% = \frac{V.0,14.f}{P} \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

- V representa a diferença entre o n° de mL de ácido sulfúrico 0,05 M e o número de mL de hidróxido de sódio 0,1 M gastos na titulação;
- P representa o número de gramas da amostra;
- f representa o fator de conversão (6,25).

### 3.7.5 Amidos/Carboidratos (A%)

Segundo Instituto Adolfo Lutz (2008) pesou-se 5,0 g da amostra em uma cápsula de porcelana sucessivamente e transferiu-se o material desengordurado para um frasco Erlenmeyer de 500 mL, com o auxílio de 100 mL de álcool a 70 %, agitando por 1 hora, e deixando que esfrie, centrifugando e resfriando o resíduo com água. Adicionou-se o hidróxido de sódio e ácido clorídrico aqueceu-se em uma chave e nesta solução determinam-se os glicídios redutores por titulação pelo método 038/IV, demonstrado pela Equação 9.

$$A\% = \frac{100.N}{P} \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

- N representa o número de gramas de cinzas;
- P representa o número de gramas à amostra.

### 3.7.6 Resíduos fixo e Cinzas (CZ%)

Resíduo por incineração ou cinzas é o nome dado ao resíduo obtido por aquecimento de um produto em temperaturas acima de 300 °C. Nem sempre este resíduo representa toda a substância inorgânica presente na amostra, pois alguns sais podem sofrer redução ou volatilização nesse aquecimento. Geralmente, as cinzas são obtidas por ignição de quantidade conhecida da amostra. Algumas amostras contendo sais de metais alcalinos que retém proporções variáveis de dióxido de carbono nas condições da incineração são tratadas, inicialmente, com solução diluída de ácido sulfúrico e, após secagem do excesso do reagente, aquecidas e pesadas. O resíduo é, então, denominado “cinzas sulfatizadas”. Muitas vezes, é vantajoso combinar a determinação direta de umidade e a determinação de cinzas, incinerando o resíduo obtido na determinação de umidade.

A determinação de cinzas insolúveis em ácido, geralmente ácido clorídrico a 10% v/v, dá uma avaliação da sílica (areia) existente na amostra (INSTITUTO

ADOLFO LUTZ, 2008).

O procedimento descrito por Instituto Adolfo Lutz (2008) consistiu em pesar 5,0 a 10 g da amostra em uma cápsula, previamente aquecida, posteriormente seca em estufa onde as cinzas ficaram brancas ou ligeiramente acinzentadas repetindo as operações de aquecimento e resfriamento até peso constante, conforme Equação 10.

$$CZ_{\%} = \frac{N.100}{P} \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

- N representa o número de gramas de cinzas;
- P representa o número de gramas da amostra.

### 3.7.7 Umidade da torta (U%)

A determinação de umidade das sementes de crambe foi realizada de acordo com a metodologia descrita pelo INSTITUTO ADOLFO LUIZ (2008).

Primeiramente, pesou-se o conjunto placa de pesagem e tampa em balança analítica. Colocou-se aproximadamente cinco gramas da amostra de sementes de crambe para análise na placa de pesagem. Fechou-se a placa com a tampa e pesou-se em balança de precisão de até um miligrama. Colocou-se a placa e a tampa (com a tampa removida) em estufa com circulação e renovação de ar (modelo MA 035 – MARCONI) previamente mantida a  $105 \pm 2$  °C por 3 horas. Após decorrer esse tempo, retirou-se a placa de pesagem e fechou-se com a tampa.

Esse conjunto foi colocado em dessecador até temperatura ambiente. Após o seu resfriamento, o conjunto foi pesado e depois colocado novamente na estufa por 1 hora.

As operações de secagem, resfriamento e pesagem, foram repetidas até a diferença entre as pesagens serem igual ou menor a 0,1 % do peso da amostra, conforme Equação 11.

$$U(\%) = \frac{100.N}{P} \quad (\text{Equação 11})$$

Onde:

- U (%) representa a umidade;
- N representa o número de gramas de umidade (perda de massa em g);
- P representa o número de gramas da amostra.

### 3.8 Análises Estatísticas

Após a coleta dos dados das amostras de torta e óleo bruto da semente de crambe foi realizada a análise de variância fator duplo (ANOVA) pelo *software* Action 3.1.

Com os resultados obtidos da análise de variância, calcularam-se os efeitos principais e a relação entre umidade e temperatura determinando quais os efeitos mais significativos para o processo em estudo e comparando-os com o valor do efeito e o erro experimental estimado utilizando o valor - p de significância com 95 % de confiabilidade, se existiu significância entre os resultados aplicou-se a análise de regressão.

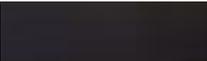
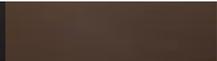
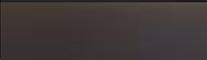
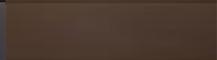
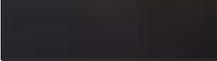
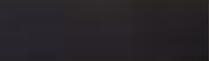
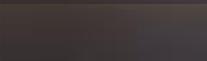
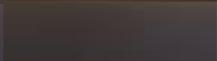
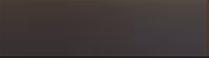
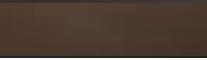
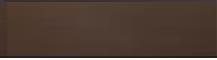
Obteve-se assim modelos experimentais de regressão, assim, um modelo de primeira ordem para correlacionar variáveis e respostas. Quando o modelo de primeira ordem não for eficiente, pode-se completar o planejamento realizando ensaios nos pontos axiais para um modelo de segunda ou mais ordens (VIEIRA, 2006).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Análise visual do óleo bruto

As amostras com menores teores de umidade relativa (água adicionada) apresentaram a coloração escura do óleo, e à medida que foi aumentando a quantidade de água nas amostras, a cor do óleo se tornou mais clara, com uma tonalidade marrom (Tabela 13).

Tabela 13: Análise visual do óleo de crambe extraído em diferentes umidades relativas e temperaturas.

Umidade Relativa (%)	0	2	3,5	5
Temperatura (°C)				
80 - 100	-	-		
100 - 120	-	-		
120 - 140				
140 - 160				

Mello et al. (2008) afirmaram que a presença de cinzas em óleo é devido ao tipo de extração ao qual a amostra foi submetida, ou seja, deve-se realizar um teste de cinzas para avaliar a quantidade de matéria que foi queimada devido a temperatura.

Para as faixas de temperatura de 80 a 100 °C e e 100 a 120 °C com 0,0 e 2,0 % de umidade relativa não foi possível realizar a extração, caracterizado pelo entupimento da extrusora causado pela baixa temperatura e baixa umidade dos grãos.

Assim em toda a parte de análise de dados referente à faixa de valores citada, a ausência de valores numéricos corresponde à incapacidade de extração e análise nas respectivas faixas de temperatura e umidade relativa.

#### 4.1.1 Rendimento de óleo bruto

A temperatura e o teor de umidade não influenciaram significativamente o rendimento de óleo bruto dos grãos de crambe ( $p > 0,05$ ). Como o valor F calculado foi menor que o F tabelado pode-se dizer que a análise não apresenta um modelo de regressão significativo, com seus respectivos graus de liberdade (Tabela 14).

Barros Neto, Scarminio e Bruns (2003), afirmaram que uma regressão é significativa do ponto de vista do valor de erro apresentado no teste de variância, ou seja, quando o valor - p encontrado for menor que o erro de 5% (0,05), devem apresentar um modelo de regressão, caso contrário não existe essa necessidade.

Tabela 14: Análise de variância do rendimento bruto de óleo para a extração de óleo dos grãos de crambe

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GL</i>	<i>QM</i>	<i>F</i>	<i>Valor - P</i>	<i>F crítico</i>
<b>Temperatura (°C)</b>	335,47	3	111,82	3,05858	0,0842	3,86254
<b>Umidade Relativa (%)</b>	228,25	3	76,08	2,08101	0,1730	3,86254
<b>Erro</b>	329,05	9	36,56			
<b>Total</b>	892,78	15				

Os maiores rendimentos de óleo bruto de crambe estão relacionados aos maiores valores de teor de umidade relativa e de temperatura de extração dos grãos durante a prensagem (Tabela 15). Dentro da faixa de valores para a temperatura e teor de umidade adotados neste estudo, pode-se afirmar que para a temperatura de 140 a 160 °C e teor de umidade relativa de 5% o rendimento de óleo será máximo, correspondente a 22,63 %.

Pode-se observar também que para a faixa de temperatura de 120 a 140 °C com teor de umidade relativa de 2,0 % houve um aumento significativo no rendimento do grão, correspondente a 20,19 %. E a partir desse modelo foi possível construir a curva de nível (Figura 9) e a superfície resposta de rendimento (Figura 10).

Tabela 15: Valores médios de rendimento bruto de óleo (g) e desvio padrão nos grãos de crambe extraídos em diferentes umidades relativas e temperaturas.

Temperatura (°C)	Umidade Relativa (%)			
	0,00	2,00	3,50	5,00
<b>80 - 100</b>	-	-	12,179	21,504
	-	-	(1,9553)	(1,8330)
<b>100 - 120</b>	-	-	12,109	12,220
	-	-	(1,8148)	(2,0952)
<b>120 - 140</b>	16,265	20,198	12,160	13,316
	(1,7786)	(1,9313)	(1,8556)	(1,9617)
<b>140 - 160</b>	15,305	14,869	14,869	22,631
	(1,8771)	(1,9140)	(1,9140)	(1,7616)

\*Valores entre parênteses representam os valores de desvio padrão.

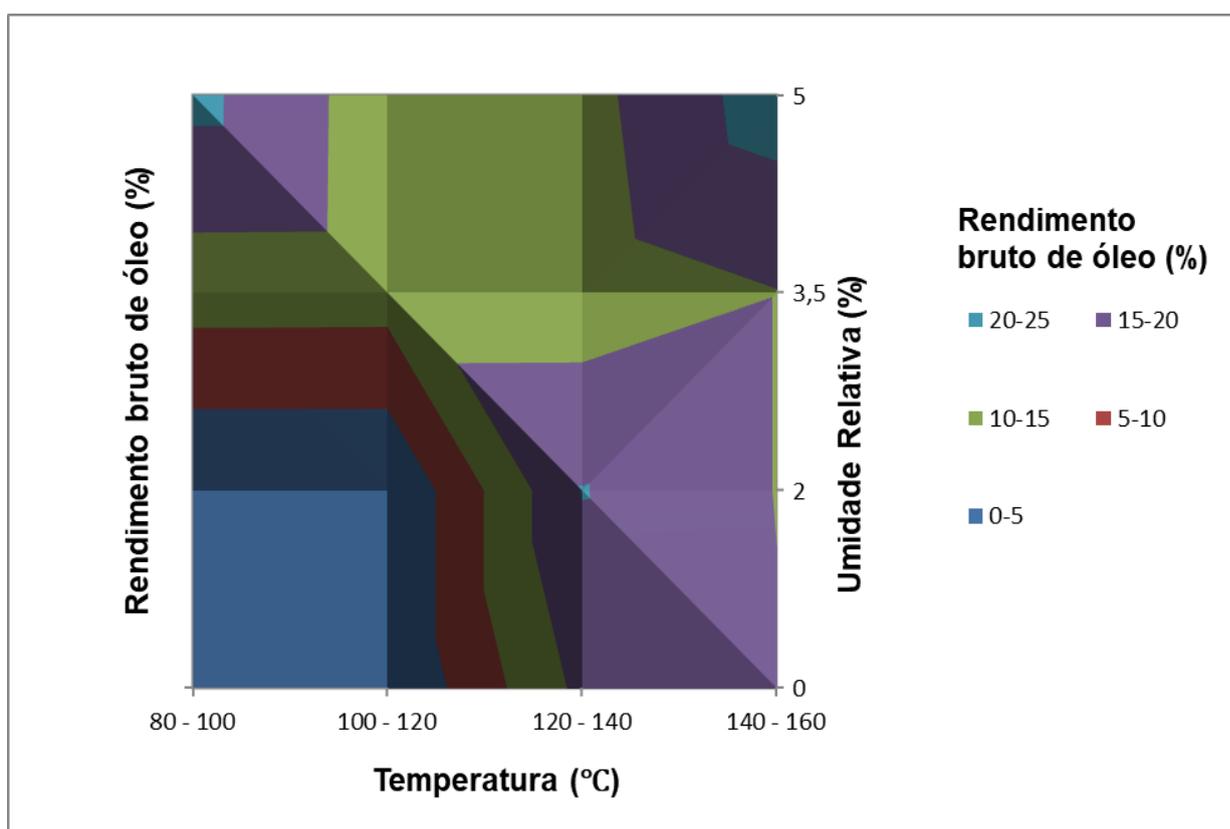


Figura 7: Curva de nível para o rendimento bruto de óleo em extração de grãos de crambe em diferentes temperaturas de extração e umidade relativa.

A partir da análise da curva de nível de 120 a 140 °C com teor de umidade relativa de 2,0 % houve uma diferenciação entre as superfícies criando pontos numéricos máximos (Figura 9). E a partir desse modelo foi possível construir a

curva de nível (Figura 9) e a superfície resposta de rendimento (Figura 10).

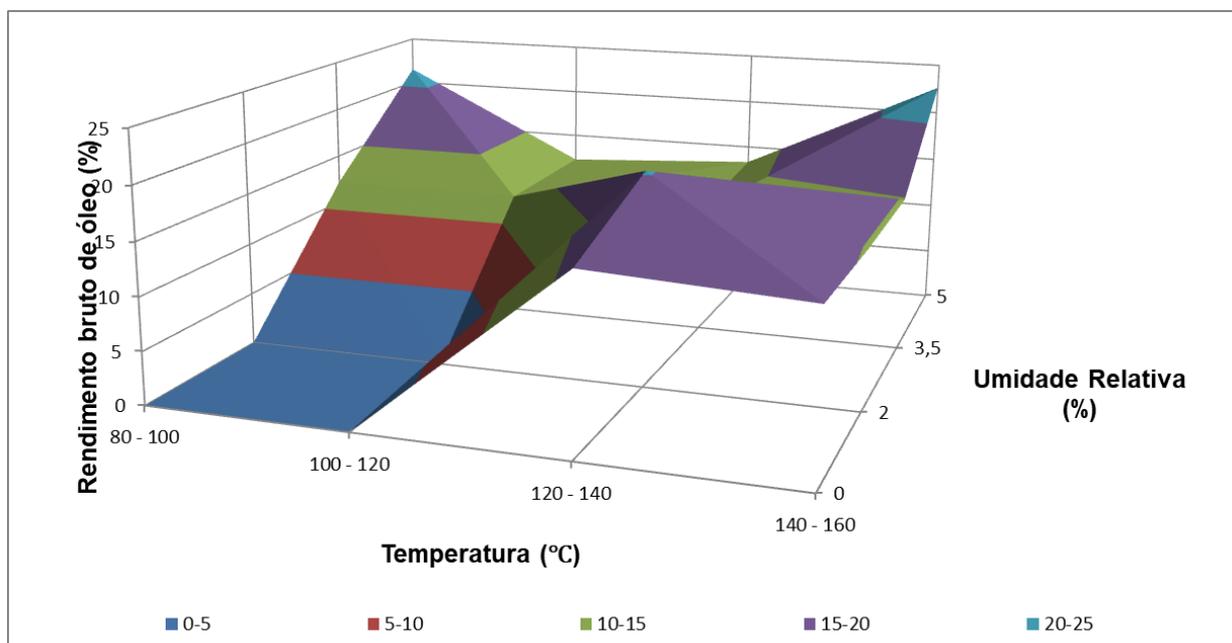


Figura 8: Superfície resposta para o rendimento bruto de óleo em extração de grãos de crambe em diferentes temperaturas de extração e umidade relativa.

#### 4.1.2 Índice de Acidez (IA)

Para o índice de acidez, o valor F calculado apresentou maior que o F tabelado, assim, a análise apresenta um modelo de regressão significativo, pois rejeita-se a hipótese  $H_0$  de igualdade entre as amostras, ou seja é necessário um momento de regressão que apresente a curva características dos resultados, com seus respectivos graus de liberdade (Tabela 16).

Observou ainda que o fator de variação de temperatura, representada por linhas não apresentou um valor  $-p$  significativo, ou seja, a variação das faixas de temperatura na extrusão do crambe não influenciou a extração de óleo, porém a maior quantidade de água adicionada correspondida pela porcentagem de umidade relativa apresenta um valor  $-p$  menor que 0,05, assim as amostras se diferiram nesse tratamento.

Tabela 16: Análise de variância do índice de acidez para a extração de óleo dos grãos de crambe

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>Valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>Temperatura (°C)</b>	1,1933	3	0,3977	0,1345	0,9369	3,8625
<b>Umidade Relativa (%)</b>	42,405	3	14,135	4,7808	0,0293	3,8625
<b>Erro</b>	26,609	9	2,9565			
<b>Total</b>	70,203	15				

Os ácidos graxos são constituintes dos óleos e gorduras na forma de mono, di e triglicerídeos, uma grande quantidade de ácidos graxos livres indica que o produto está em acelerado grau de deterioração. A principal consequência disso é que o produto se torna mais ácido. Um elevado índice de acidez indica, portanto, que o óleo ou gordura está sofrendo quebras em sua cadeia, liberando seus constituintes principais: os ácidos graxos (SANTOS, 2016).

Os ácidos graxos livres são elementos indesejáveis que causam dependendo de sua origem cheiros e sabores indesejáveis. O conteúdo de ácidos graxos livres dos óleos brutos depende da sua qualidade. Em geral, o aumento da acidez declina a qualidade do óleo, e é por esse motivo que o cálculo desse índice é de extrema importância na avaliação do estado de deterioração (MELO, 2010).

Tabela 17: Valores médios de índice de acidez ( $\text{mg g}^{-1}$  de KOH) e desvio padrão nos grãos de crambe extraídos em diferentes umidades relativas e temperaturas.

<b>Umidade Relativa (%)</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>3,5</b>	<b>5</b>
<b>Temperatura (°C)</b>	<b>(<math>\text{mg g}^{-1}</math> de KOH)</b>			
<b>80 - 100</b>	-	-	4,0027	7,1107
	-	-	(0,0753)	(0,1655)
<b>100 - 120</b>	-	-	5,8516	5,3545
	-	-	(0,2181)	(0,1410)
<b>120 - 140</b>	1,9682	1,7694	2,5977	2,5249
	(0,0689)	(0,1052)	(0,0500)	(0,0717)
<b>140 - 160</b>	1,7694	1,6965	3,0484	2,5911
	(0,1209)	(0,0304)	(0,0803)	(0,1198)

\*Valores entre parênteses representam os valores de desvio padrão.

Quando a umidade relativa é 0 % (sem adição de água, apenas umidade em base úmida), os valores de índice de acidez apresentaram valores de 1,9682 e

1,7694 mg g<sup>-1</sup> de KOH, para as duas últimas faixas de temperaturas analisadas no estudo. Em contrapartida, quando é adicionado água para a extração, com umidade relativa de 5 %, em temperaturas menores, entre 80 e 120 °C, o índice de acidez teve um acréscimo elevado, apresentando que nessa faixa de temperatura existe maior deterioração do óleo de extração (Tabela 17).

Quanto menor a faixa de temperatura e maior a quantidade de água relativa dos grãos em porcentagem observa-se que a qualidade do óleo de crambe para a extração fica comprometida apresentando maiores valores de índice de acidez.

Pela análise de regressão múltipla dos dados experimentais de índice de acidez, obtiveram-se os modelos polinomiais de segunda e terceira ordem (Figura 11). Observa-se que apenas a curva de 80 – 100 °C obteve-se uma equação quadrática.

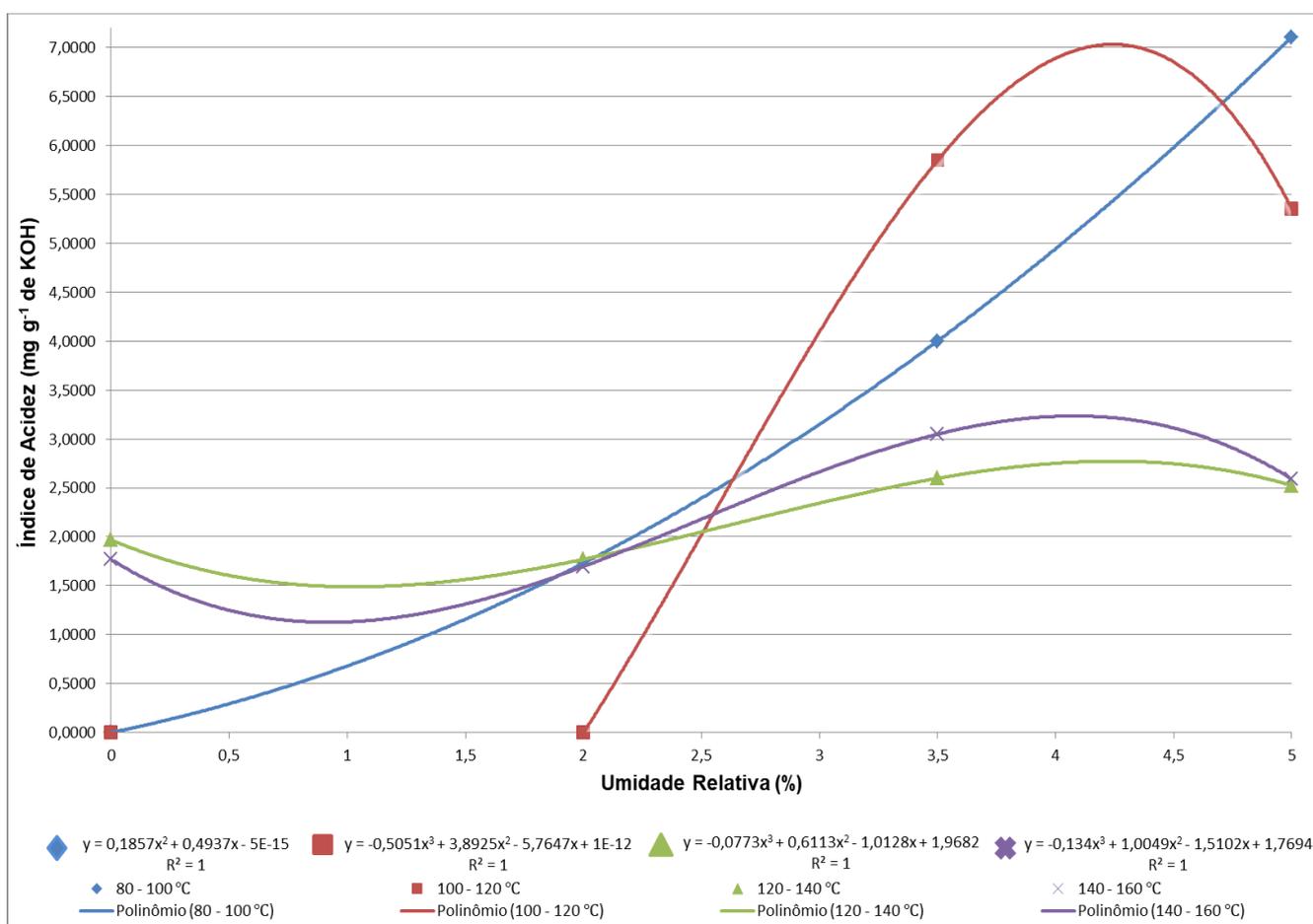


Figura 9: Análise de regressão em modelo polinomial para índice de acidez em extração de crambe em diferentes umidades relativas e temperatura.

Não houve necessidade de expansão do modelo para a quarta ordem, ou adição de pontos axiais, já que a análise se manteve com o coeficiente  $R^2$  com valor correspondente a um, ou seja, 100 % do modelo de índice de acidez é explicado pelas equações polinomiais apresentadas.

Dentro da faixa de valores para a temperatura e umidade relativa dos grãos onde o rendimento de óleo é máximo, 140 a 160 °C e teor de umidade relativa de 5% o índice de acidez apresenta o valor médio de 2,5911 mg g<sup>-1</sup> de KOH. Pode-se observar também que para a faixa de temperatura de 120 a 140 °C com teor de umidade relativa de 2,0 % o índice de acidez corresponde a 1,7694 mg g<sup>-1</sup> de KOH. Ambos os valores não estão dentro dos parâmetros da AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (1999).

Para a AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (1999) o índice de acidez do óleo de soja refinado e para outros óleos vegetais, como: canola, milho, girassol, amendoim, em gramas de ácido oléico/100g de óleo é no máximo 0,3 mg g<sup>-1</sup> de KOH. Comparando este valor com os valores obtidos no estudo, para o óleo de crambe, confere-se também a este óleo a inadequação para o consumo.

Comparando, Jasper et al. (2010b) encontraram um índice de acidez de 3,64 mg g<sup>-1</sup> de KOH, enquanto Silva et al. (2013b) encontravam valores médios de índice de acidez em óleo bruto de crambe de 0,61 a 1,5 mg g<sup>-1</sup> de KOH.

Verifica-se através da análise de regressão que nas faixas de temperatura representada pelo polinômio 100 – 120 °C, 120 – 140 °C e 140 -160 °C, a curva característica obtém valores mínimos de índice de acidez com umidades relativas entre 0,5 e 1,5 %, ou seja, pela análise de regressão encontrou-se um valor de umidade ótimo onde o índice de acidez também é mínimo, dados os quais não estavam experimentalmente no estudo.

Silva et al. (2013a) avaliaram a qualidade do óleo bruto de crambe secos em diferentes formas e concluíram que a média de acidez do óleo foi de 0,43 mg g<sup>-1</sup> de KOH. Os autores afirmaram ainda que para produzir biodiesel com óleos vegetais deve-se ter uma porcentagem menor que 3,0 % de ácidos graxos livres, para que não ocorra a saponificação, assim para o crambe, os limites de 3,0 % ficam acima do limite comerciável.

#### 4.1.3 Umidade do óleo (%)

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) é um parâmetro estatístico que relaciona a variância dos pontos experimentais em relação ao modelo proposto com a variância da própria população de pontos experimentais, ou seja, analisou-se o valor – p para aceitar ou rejeitar a hipótese nula de igualdade entre as amostras, (Tabela 18).

Tabela 18: Análise de variância da umidade do óleo dos grãos de crambe

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>GL</i>	<i>QM</i>	<i>F</i>	<i>Valor - P</i>	<i>F crítico</i>
<b>Temperatura (°C)</b>	0,0105	3	0,0035	2,92453	0,0924	3,8625
<b>Umidade Relativa (%)</b>	0,0271	3	0,0090	7,52618	0,0079	3,8625
<b>Erro</b>	0,0108	9	0,0015			
<b>Total</b>	0,0485	15				

Não foi observado um Valor – P significativo, ou seja, a variação das faixas de temperatura na extrusão do crambe não é significativa, porém a maior quantidade de água adicionada correspondida pela porcentagem de umidade relativa apresenta um valor – P menor que 0,05, assim as amostras se diferem nesse tratamento.

Quando a umidade adicionada é 0 %, ou seja, nenhuma água adicionada, os valores de umidade em óleo de crambe apresentam valores de 0,08 % e 0,11 %, para as duas últimas faixas de temperaturas analisadas no estudo. Em contra partida, quando é adicionada água para a extração a umidade cresce significativamente, já que com mais água adicionada a extração tem-se conseqüentemente mais água como subproduto final no óleo de crambe (Tabela 19).

Pela análise de regressão múltipla dos dados experimentais de umidade relativa em óleo obtiveram-se os modelos polinomiais de terceira ordem (Figura 12).

Não houve necessidade de expansão do modelo para a quarta ordem, ou adição de pontos axiais, já que a análise manteve-se com o coeficiente  $R^2$  com valor correspondente a um, ou seja, 100 % do modelo de índice de acidez é explicado pelas equações polinomiais apresentadas.

Tabela 19: Valores médios de umidade do óleo (%) e desvio padrão nos grãos de crambe extraídos em diferentes umidades relativas e temperaturas.

Umidade Relativa (%)	0	2	3,5	5
Temperatura (°C)	(%)			
<b>80 - 100</b>	-	-	0,1233	0,1367
	-	-	0,0153	0,0058
<b>100 - 120</b>	-	-	0,1267	0,1333
	-	-	0,0153	0,0208
<b>120 - 140</b>	0,0800	0,0767	0,1033	0,1100
	0,0100	0,0058	0,0058	0,0208
<b>140 - 160</b>	0,1100	0,1100	0,1133	0,1767
	0,0100	0,0100	0,1133	0,0153

\*Valores entre parênteses representam os valores de desvio padrão.

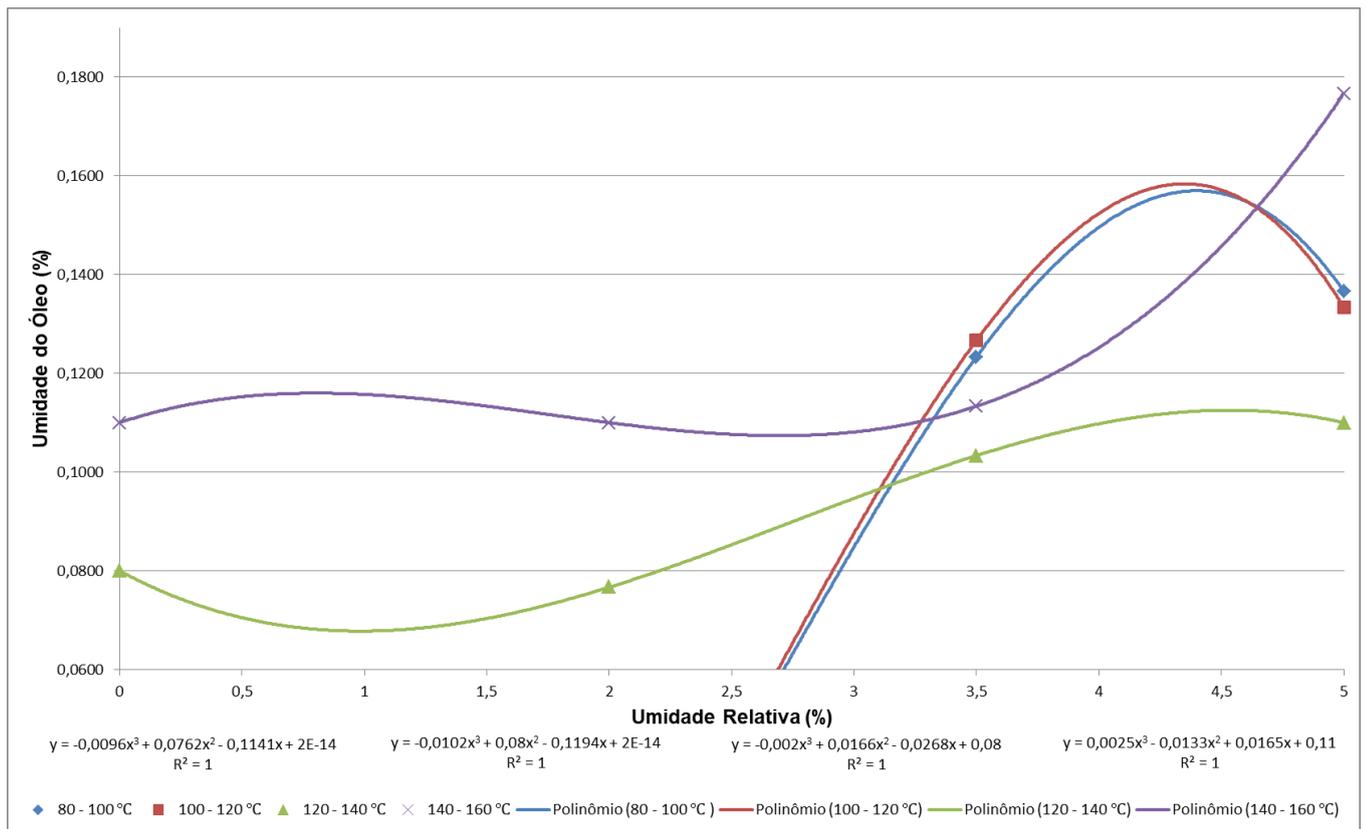


Figura 10: Análise de regressão em modelo polinomial para umidade do óleo em extração de crambe em diferentes umidades relativas e temperatura.

Verifica-se através da análise de regressão que nas faixas de temperatura de rendimento máximo, representada pelo polinômio 140 – 160 °C, a curva característica obtém valores máximos de umidade em óleo com umidade adicionada entre 4 e 4,5 %, ou seja, consegue-se estimar que o melhor rendimento de óleo com umidade adicionada de 5 % não representa o valor máximo pois obtém-se valores maiores com menores umidades adicionadas.

#### 4.1.4 Massa Específica ( $\rho$ )

Pela análise de variância obteve-se o valor de 0,081 para o valor de p entre a umidade relativa e 0,1214 para as faixas de temperatura, os quais ficam acima do intervalo de confiabilidade de 95 %, comprovando que não existe diferença entre os tratamentos.

Os valores médios de massa específica em  $\text{kg m}^{-3}$  do grão de crambe extraídos em diferentes umidades e temperaturas. Conclui-se pela análise de variância que não existe diferença significativa entre os valores das amostras com diferentes tratamentos (Tabela 20).

Tabela 20: Análise de variância da massa específica para a extração de óleo dos grãos de crambe

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>Valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>Temperatura (°C)</b>	0,7643	3	0,2547	3,1001	0,0818	3,8625
<b>Umidade Relativa (%)</b>	0,6274	3	0,2091	2,5448	0,1214	3,8625
<b>Erro</b>	0,7396	9	0,0821			
<b>Total</b>	2,1313	15				

O valor médio de massa específica corresponde a  $847,0 \text{ kg m}^{-3}$ . Tendo em vista o maior rendimento do óleo de crambe, o qual ocorre na faixa de temperatura de 140 a 160 °C com 5% de umidade relativa, observa-se um valor de  $837,8 \text{ kg m}^{-3}$  (Tabela 21).

A massa específica de Silva et al. (2013b) observada foi de  $910 \text{ kg m}^{-3}$  juntamente com Jasper et al. (2010b) obtivendo o mesmo valor, comprovando que não existem diferenças relacionadas a massa específica quando se extrai óleo de crambe em diferentes faixas de temperatura e umidade.

Tabela 21: Valores médios de massa específica ( $\text{kg m}^{-3}$ ) e desvio padrão nos grãos de crambe extraídos em diferentes umidades relativas e temperaturas

Umidade Relativa (%)	0	2	3,50	5
Temperatura (°C)	(kg m <sup>-3</sup> )			
<b>80 - 100</b>	-	-	824,4	837,5
	-	-	(0,0111)	(0,0100)
<b>100 - 120</b>	-	-	812,5	827,7
	-	-	(0,0100)	(0,0162)
<b>120 - 140</b>	873,7	846,7	834,5	824,7
	(0,0131)	(0,0153)	(0,0167)	(0,0105)
<b>140 - 160</b>	896,9	849,7	834,5	837,8
	(0,0148)	(0,0114)	(0,0126)	(0,0115)

\*Valores entre parênteses representam os valores de desvio padrão.

#### 4.1.5 Viscosidade Cinemática ( $\nu$ )

Pode-se observar que a temperatura e teor de umidade relativa não influenciaram significativamente na resposta da viscosidade cinemática do grão de crambe para as temperaturas analisadas ( $p > 0,05$ ) (Tabela 22).

Tabela 22: Valores - P para análise de viscosidade cinemática para diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	Varição Analisada	Valor - P
<b>25</b>	Temperatura (°C)	0,0948
	Umidade Relativa (%)	0,1165
<b>40</b>	Temperatura (°C)	0,0842
	Umidade Relativa (%)	0,1094
<b>50</b>	Temperatura (°C)	0,1381
	Umidade Relativa (%)	0,1263
<b>80</b>	Temperatura (°C)	0,0741
	Umidade Relativa (%)	0,0898

Como o Valor - P calculado apresenta em todos os casos um valor maior que 0,05, pode-se dizer que o a análise não apresenta um modelo de regressão significativo, com seus respectivos graus de liberdade, afirmando que não se pode

rejeitar a hipótese nula de que as amostras de viscosidade segundo suas respectivas temperaturas não apresentam diferenças significativas.

Tabela 23: Valores médios de viscosidade cinemática ( $\text{mm}^2 \text{s}^{-1}$ ) e desvio padrão nos grãos de crambe extraídos em diferentes umidades relativas e temperaturas a 25, 40, 50 e 80°C

Umidade Relativa (%)		0	2	3,5	5
Temperatura (°C)		$(\text{mm}^2 \text{s}^{-1})$			
25	80 - 100	-	-	44,2758 (1,2777)	47,0953 (0,3114)
	100 - 120	-	-	45,0025 (2,1630)	45,2931 (1,7037)
	120 - 140	49,9801 (1,3000)	45,4639 (0,2476)	46,9499 (1,7723)	45,2859 (2,4323)
	140 - 160	46,1034 (0,2917)	44,6246 (1,6821)	43,8107 (0,2245)	43,8616 (2,3765)
	80 - 100	-	-	39,5772 (2,0858)	38,1820 (0,7926)
	100 - 120	-	-	34,6867 (0,8948)	38,2256 (1,5270)
	120 - 140	44,3209 (0,7362)	38,5649 (0,3348)	37,6573 (1,4393)	37,4887 (1,8581)
	140 - 160	37,8862 (1,5128)	34,8306 (0,2115)	39,9856 (1,1465)	37,1457 (2,1607)
40	80 - 100	-	-	32,5292 (1,4397)	24,8120 (1,9282)
	100 - 120	-	-	26,4797 (1,1314)	27,6242 (0,9958)
	120 - 140	35,8319 (1,3917)	28,2165 (1,1278)	23,7184 (1,0933)	25,7930 (2,2948)
	140 - 160	25,5605 (2,6212)	21,3604 (0,8091)	33,0270 (1,4814)	27,0720 (1,2368)
	80 - 100	-	-	26,6287 (0,8310)	26,6287 (1,1743)
	100 - 120	-	-	22,5804 (1,3298)	24,2220 (1,3052)
	120 - 140	29,7497 (1,8862)	16,2119 (0,9976)	22,1895 (1,4590)	22,4155 (2,3910)
	140 - 160	22,1539 (2,3037)	19,3388 (0,3663)	26,1455 (1,8667)	22,3414 (0,9509)
50	80 - 100	-	-	26,6287 (0,8310)	26,6287 (1,1743)
	100 - 120	-	-	22,5804 (1,3298)	24,2220 (1,3052)
	120 - 140	29,7497 (1,8862)	16,2119 (0,9976)	22,1895 (1,4590)	22,4155 (2,3910)
	140 - 160	22,1539 (2,3037)	19,3388 (0,3663)	26,1455 (1,8667)	22,3414 (0,9509)
	80 - 100	-	-	26,6287 (0,8310)	26,6287 (1,1743)
	100 - 120	-	-	22,5804 (1,3298)	24,2220 (1,3052)
	120 - 140	29,7497 (1,8862)	16,2119 (0,9976)	22,1895 (1,4590)	22,4155 (2,3910)
	140 - 160	22,1539 (2,3037)	19,3388 (0,3663)	26,1455 (1,8667)	22,3414 (0,9509)
80	80 - 100	-	-	26,6287 (0,8310)	26,6287 (1,1743)
	100 - 120	-	-	22,5804 (1,3298)	24,2220 (1,3052)
	120 - 140	29,7497 (1,8862)	16,2119 (0,9976)	22,1895 (1,4590)	22,4155 (2,3910)
	140 - 160	22,1539 (2,3037)	19,3388 (0,3663)	26,1455 (1,8667)	22,3414 (0,9509)
	80 - 100	-	-	26,6287 (0,8310)	26,6287 (1,1743)
	100 - 120	-	-	22,5804 (1,3298)	24,2220 (1,3052)
	120 - 140	29,7497 (1,8862)	16,2119 (0,9976)	22,1895 (1,4590)	22,4155 (2,3910)
	140 - 160	22,1539 (2,3037)	19,3388 (0,3663)	26,1455 (1,8667)	22,3414 (0,9509)

\*Valores entre parênteses representam os valores de desvio padrão.

O valor médio de viscosidade cinemática correspondente às temperaturas de 25, 40, 50 e 80 °C são 45,645, 38,2126, 27,668, 22,716 mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>. Tendo em vista o maior rendimento do óleo de crambe, o qual ocorre na faixa de temperatura de 140 a 160 °C com 5% de umidade relativa na temperatura de 40°C, observa-se um valor médio de 37,1457 mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> (Tabela 23).

Bezerra (2014) encontrou valores de viscosidade cinemática no óleo bruto de crambe de 49,6 mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> a 40 °C, igualmente Jasper et al. (2010a) obtiveram valor médio de viscosidade cinemática de 49,02 mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>.

Silva et al. (2013c) verificaram a viscosidade cinemática do crambe em diferentes secagens, e encontram valores de viscosidade para secagem com ar aquecido, secagem com ar natural e secagem em terreiro de respectivamente de 49,92, 50,03 e 49,82 mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> em todas as amostras. Assim, comparando com Jasper et al. (2010a), Thompson et al. (2006) que obtiveram viscosidade cinemática de 49,02 mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> e 50,16 mm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> respectivamente.

## 4.2 Análises Bromatológicas

### 4.2.1 Rendimento de Torta

Os menores rendimentos de torta estão relacionados aos maiores valores de rendimento de óleo, por serem inversamente proporcionais. Esses valores são obtidos com maior teor de umidade relativa e de temperatura de extração dos grãos durante a prensagem (Tabela 24).

Tabela 24: Valores - P para análise de rendimento de torta para diferentes temperaturas

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>Valor-P</i>	<i>F crítico</i>
<b>Temperatura (°C)</b>	6150,952	3	2050,319	2,271736	0,1498	3,8648
<b>Umidade Relativa (%)</b>	6770,972	3	2256,996	2,500728	0,125	3,8628
<b>Erro</b>	8122,799	9	902,5339			
<b>Total</b>	21044,724	15				

Dentro da faixa de valores para a temperatura e teor de umidade adotados neste estudo, pode-se afirmar que para a temperatura de 140 a 160 °C e teor de umidade relativa de 5% o rendimento de torta mínimo será de 77,36 %. Pode-se observar também que para a faixa de temperatura de 120 a 140 °C com teor de umidade relativa de 2,0 % houve uma diminuição no rendimento de torta sendo de 79,80 % (Tabela 25).

Tabela 25: Valores médios de rendimento bruto de torta (%) e desvio padrão nos grãos de crambe extraídos em diferentes umidades relativas e temperaturas

Umidade Relativa (%)	0	2	3,5	5
Temperatura (°C)	(%)			
<b>80 - 100</b>	-	-	87,821	78,496
	-	-	(1,9553)	(1,8330)
<b>100 - 120</b>	-	-	87,891	87,780
	-	-	(1,8148)	(2,0952)
<b>120 - 140</b>	83,735	79,80	87,840	86,684
	(1,7786)	(1,9313)	(1,8556)	(1,9617)
<b>140 - 160</b>	84,695	85,13	68,577	77,369
	(1,8771)	(1,9140)	(1,9140)	(1,7616)

\*Valores entre parênteses representam os valores de desvio padrão.

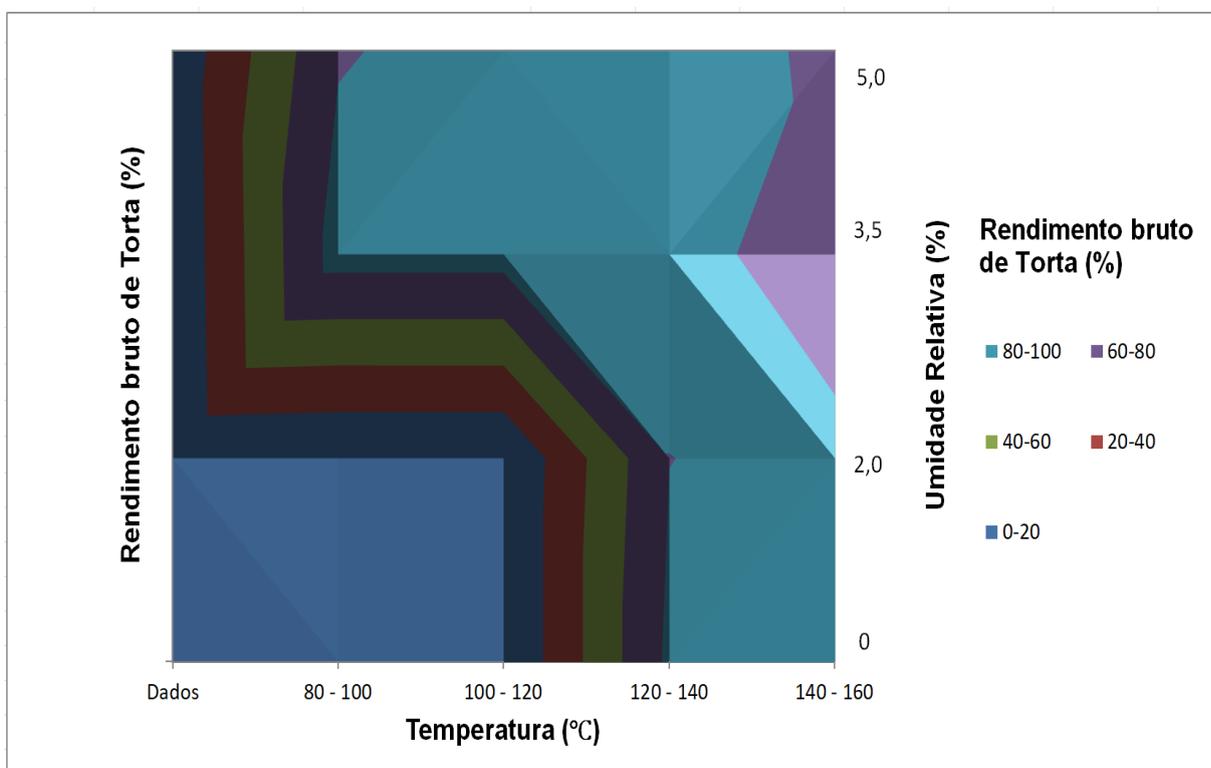


Figura 11: Curva de nível para o rendimento bruto da torta em extração de grãos de crambe em diferentes temperaturas de extração e umidade relativa.

E a partir desse modelo foi possível construir as curvas de nível (Figura 13) e a superfície resposta de rendimento (Figura 14). Juntamente com o Rendimento bruto de óleo de Crambe observou-se que a temperatura e teor de umidade não influenciaram significativamente na resposta de rendimento de óleo bruto do grão de crambe ( $p>0,05$ ).

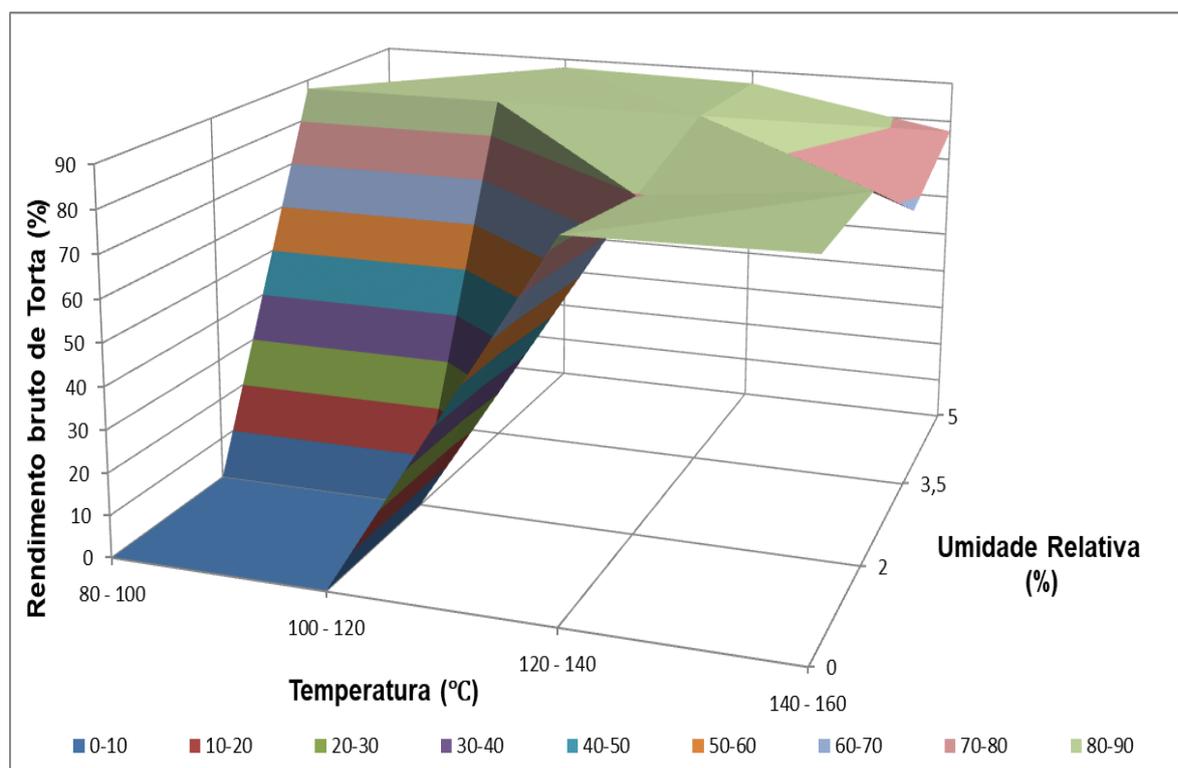


Figura 12: Superfície resposta para o rendimento bruto de torta em extração de grãos de crambe em diferentes temperaturas de extração e umidade relativa.

#### 4.2.2 Extrato Etéreo, Proteína Bruta, Amidos e Cinzas

Pode-se observar que a temperatura e teor de umidade não influenciaram significativamente na resposta Extrato Etéreo, Proteína Bruta, Amidos/Carboidratos e Resíduos fixo e Cinzas do grão de crambe ( $p>0,05$ ) (Tabela 26).

Tabela 26: Valores - P para extrato etéreo; proteína bruta; amidos/carboidratos; teor de cinzas em extração de grãos de crambe em diferentes umidades relativas e temperaturas

<b>Fonte da Variação</b>	<b>EE%</b>	<b>PB%</b>	<b>A%</b>	<b>CZ%</b>
<b>Temperatura (°C)</b>	0,15516	0,08129	0,06750	0,05018
<b>Umidade Relativa (%)</b>	0,08947	0,11512	0,12456	0,14182

\* EE%: Extrato Etéreo; PB%: Proteína Bruta; A%: Amidos/Carboidratos; CZ% Teor de Cinzas.

Como o valor F calculado apresenta-se menor do que o F tabelado ou ainda, o Valor - P calculado apresenta em todos os casos um valor maior que 0,05, pode-se dizer que a análise não apresenta um modelo de regressão significativo, com seus respectivos graus de liberdade, afirmando que não se pode rejeitar a hipótese nula de que as amostras segundo suas respectivas temperaturas e umidades relativas não apresentam diferenças significativas.

Para o maior rendimento de óleo bruto de crambe correspondente a faixa de temperatura de 140 a 160 °C e teor de umidade relativa de 5% observam-se valores para extrato etéreo, proteína bruta, amidos/carboidratos; teor de cinzas valores de 19,23, 26,75, 36,53 e 5,04 % respectivamente (Tabela 27).

O extrato etéreo manteve-se com valores entre 16,57 e 27,02 % de composição na torta de crambe após extração e não observado variação significativa entre as amostras.

Carrera et al. (2012) encontrou para o extrato etéreo para o crambe 18,40 %, já a soja o amendoim e o girassol têm respectivamente 49,20, 52,02 e 28,78 %, sendo que o amendoim é a oleaginosa que mais possui óleo em sua composição de torta devido extração mecânica. Igualmente Souza et al. (2009) encontrou 15,88% de fibra bruta para o crambe.

A proteína bruta na extração de óleo de sementes de crambe apresentou valores máximos e mínimos de 28,14 e 21,82 % respectivamente, não sendo observadas diferenças com significância entre essa faixa de valores.

Segundo Souza et al. (2009) os teores de proteína bruta nos grãos das oleaginosas estudadas (nabo-forageiro, crambe e pinhão-manso) variaram entre 20 e 30 %. O crambe ficou atrás do nabo-forageiro em questão de proteína bruta com

9,2 % de composição. Comparando-os com Abdalla (2008) chegando à conclusão que esses valores são menores, porém mesmo assim classificam essas tortas como potenciais alimentos proteicos em dietas animais.

Tabela 27: Valores médios de extrato etéreo; proteína bruta; amidos/carboidratos; teor de cinzas e desvio padrão nos grãos de crambe extraídos em diferentes umidades e temperaturas

<b>Umidade (%)</b>		<b>0</b>				<b>2</b>			
<b>Temperatura (°C)</b>	<b>EE%</b>	<b>PB%</b>	<b>A%</b>	<b>CZ%</b>	<b>EE%</b>	<b>PB%</b>	<b>A%</b>	<b>CZ%</b>	
<b>80 - 100</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>100 - 120</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>120 - 140</b>	18,5	26,7	43,6	7,15	18,9	26,9	42	6,99	
	(0,22)	(0,25)	(0,12)	(0,02)	(0,26)	(0,26)	(0,13)	(0,37)	
<b>140 - 160</b>	18,6	25	43,6	6,25	18	28,1	38	5,16	
	(0,26)	(0,33)	(0,13)	(0,02)	(0,37)	(0,37)	(0,90)	(0,22)	
<b>Umidade (%)</b>		<b>3,5</b>				<b>5</b>			
<b>Temperatura (°C)</b>	<b>EE%</b>	<b>PB%</b>	<b>A%</b>	<b>CZ%</b>	<b>EE%</b>	<b>PB%</b>	<b>A%</b>	<b>CZ%</b>	
<b>80 - 100</b>	16,9	26,2	45,9	7,14	16,6	26,5	36	4,88	
	(0,96)	(0,13)	(0,05)	(0,67)	(0,53)	(0,52)	(0,57)	(0,65)	
<b>100 - 120</b>	19,6	27,5	37,8	5,63	27	21,8	33	4,47	
	(0,25)	(0,25)	(0,02)	(0,37)	(0,24)	(0,26)	(0,13)	(0,26)	
<b>120 - 140</b>	17,1	27,6	44,9	6,93	20,2	24,6	37	5,71	
	(0,25)	(0,37)	(0,23)	(0,15)	(0,01)	(0,90)	(0,26)	(0,37)	
<b>140 - 160</b>	18,5	24,8	39,7	5,92	19,2	26,8	37	5,04	
	(0,24)	(0,21)	(0,23)	(0,15)	(0,05)	(0,57)	(0,15)	(0,22)	

\* EE%: Extrato Etéreo; PB%: Proteína Bruta; A%: Amidos/Carboidratos; CZ% Teor de Cinzas.

\*Valores entre parênteses representam os valores de desvio padrão.

Os amidos/carboidratos mantiveram-se com valores entre 32,98 e 48,59 % de composição na torta de crambe após extração, componente avaliado com maior quantidade, porém não foi observada variação significativa entre as amostras pela análise de variância.

Os autores analisados neste estudo como Brás (2011), Carrera et al. (2012),

Silva et al. (2013a) obtiveram valores de 12,75, 9,76 e 5,1 % de composição de amidos em torta de crambe. Foi observado que nos estudos não houve variação de umidade para extração, e como consequência disso observou-se maiores teores de cinza, ou seja, a água adicionada a mistura preserva uma maior porcentagem de carboidratos na torta.

Os valores de teor de cinzas das amostras de crambe diminuem quanto maior a água adicionada na amostra de crambe para a extração. Os valores correspondentes variam de valores máximos de 7,15 % e valores mínimos de 4,47 %. Pode-se observar ainda que em menores temperaturas de extração, na faixa de 80 a 100 °C o teor de cinzas também foi menor.

Neiva Júnior et al. (2007) afirmam que em temperaturas inferiores a 120 °C, a porcentagem de cinzas na amostra de torta é menor, pois durante a extração não existe calor por atrito suficiente para incinerar a torta na forma que o subproduto terá maiores teores de carboidratos, conforme apresentado nesse estudo.

Ainda Carrera et al. (2012) e Souza et al. (2009) encontraram valores de teor de cinzas de 5,01 % de, 6,30 % respectivamente para a torta de crambe.

#### 4.2.3 Fibra Bruta (FB%)

Para a porcentagem da Fibra Bruta (Tabela 16), o valor F calculado apresenta-se maior do que o F tabelado pode-se dizer que a análise apresenta um modelo de regressão significativo, pois rejeita-se a hipótese H<sub>0</sub> de igualdade entre as amostras, ou seja é necessário um momento de regressão que apresente a curva características dos resultados, com seus respectivos graus de liberdade.

Observa-se ainda que a fonte de variação de umidade relativa (Tabela 28), representada por colunas não apresentou um Valor – P significativo, ou seja, a variação das faixas de temperatura na extrusão do crambe não é significativa, porém as diferentes temperaturas de extração apresentaram um valor – P menor que 0,05, assim as amostras se diferem nesse tratamento, relacionando a porcentagem de fibra bruta em torta com a temperatura de extração.

Tabela 28: Análise de variância da fibra bruta para a extração de óleo dos grãos de crambe

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>Valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>Temperatura (°C)</b>	14,518	3	4,839	4,174	0,0414	3,862
<b>Umidade (%)</b>	6,128	3	2,042	1,762	0,2240	3,862
<b>Erro</b>	10,43	9	1,159			
<b>Total</b>	31,07	15				

Para a faixa de rendimento bruto de óleo máximo, correspondida pela faixa de temperatura de 140 a 160 °C e 5 % de umidade adicionada, obtém-se um valor de fibra bruta de 3,37 %, e analisando todo o processo obtém-se valores máximos e mínimos de 4,02 e 2,16 % respectivamente (Tabela 29).

Tabela 29: Valores médios de fibra bruta e desvio padrão nos grãos de crambe extraídos em diferentes umidades relativas e temperaturas

<b>Umidade (%)</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>3,5</b>	<b>5</b>
<b>Temperatura (°C)</b>	<b>(%)</b>			
<b>80 - 100</b>	-	-	3,1	2,47
	-	-	(0,0800)	(0,0300)
<b>100 - 120</b>	-	-	2,58	2,16
	-	-	(0,1520)	(0,3510)
<b>120 - 140</b>	3,22	2,43	3,89	2,01
	(0,1520)	(0,2540)	(0,1254)	(0,0350)
<b>140 - 160</b>	4,02	3,51	2,76	3,37
	(0,0210)	(0,2150)	(0,2540)	(0,1250)

\*Valores entre parênteses representam os valores de desvio padrão.

Pela análise de regressão múltipla dos dados experimentais de umidade em óleo obtiveram-se os modelos polinomiais de terceira ordem (Figura 15). Não houve necessidade de expansão do modelo para a quarta ordem, ou adição de pontos axiais, já que a análise manteve-se com o coeficiente R<sup>2</sup> com valor correspondente a um, ou seja, 100 % do modelo de índice de acidez é explicado pelas equações polinomiais apresentadas.

Verifica-se através da análise de regressão que nas faixas de temperatura de rendimento máximo, representada pelo polinômio 140 – 160 °C, a curva característica obtém valores máximos de fibra bruta em torta com umidade

adicionada entre 0,5 e 1 %, ou seja, consegue-se estimar que o melhor rendimento de óleo com umidade adicionada de 5 % não representa o valor máximo pois obtém-se valores maiores com menores umidades adicionadas.

Verifica-se ainda que nos demais polinômios de regressão, onde a extração é feita nas demais faixas de temperatura, a maior porcentagem de fibra bruta fica na umidade entre 4 e 4,5%.

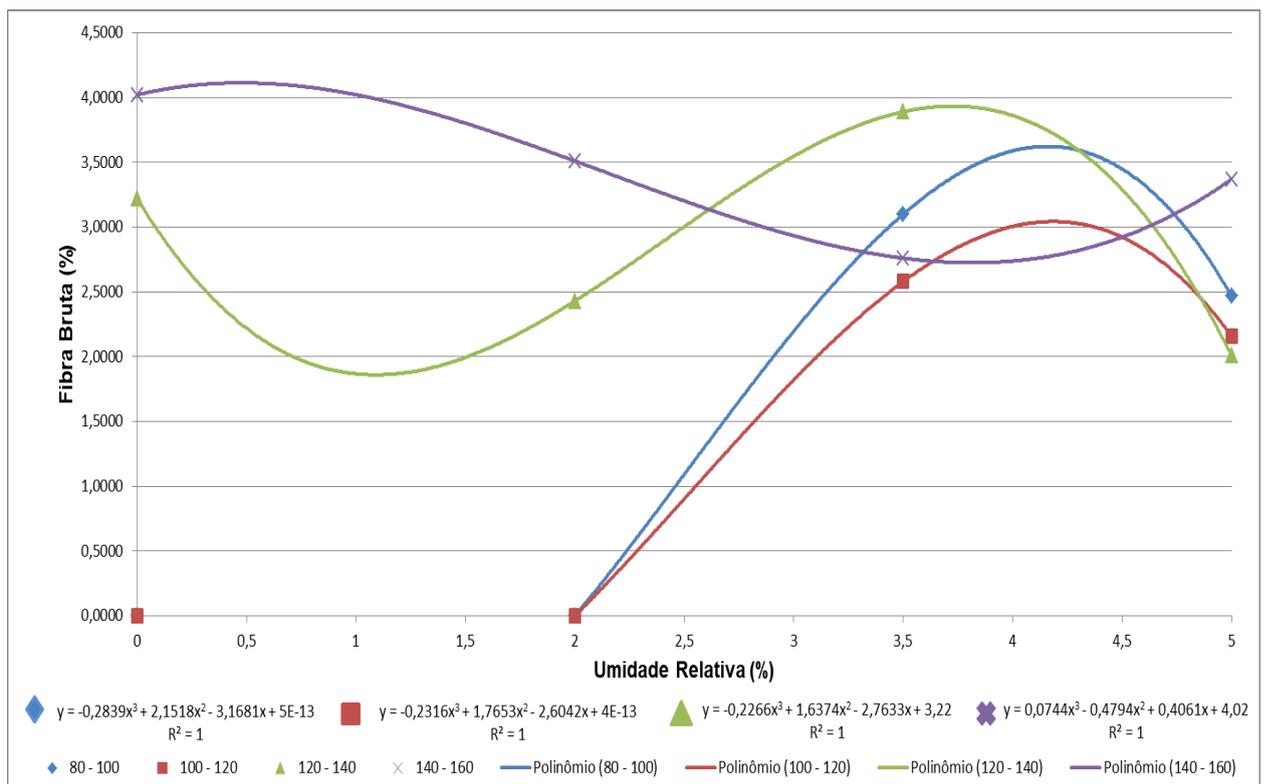


Figura 13: Análise de regressão em modelo polinomial para fibra bruta em extração de crambe em diferentes umidades e temperatura.

Silva et al. (2013a) chegou a valores com porcentagens de fibra bruta de 33 %, enquanto Carlson e Tookey (1983) relataram que os teores de fibra bruta em crambe foram de 14,3, 3,6 e 22,1 % para grãos inteiros, descascados e para a casca, respectivamente, o que demonstra o acúmulo de fibras na parte mais externa do grão.

Verifica-se também que em maiores faixas de temperatura, e como a extrusora opera em faixas de temperatura consequente do atrito dos grãos, em maiores faixas de temperatura a parte envoltória da semente é degradada devido ao excesso de calor, causando uma diminuição da porcentagem de fibra bruta, ou

seja, pela análise de regressão verifica-se que para o objetivo de produção de fibra na torta de crambe a faixa ideal de temperatura e umidade é o polinômio representado pela faixa de temperatura de 120 a 140 °C com 3 a 4% de umidade adicionada.

#### 4.2.3 Umidade e matéria volátil (U%)

Para a umidade e matéria volátil em torta de crambe rejeita-se a hipótese nula de igualdade entre as amostras, ou seja, para a o fator temperatura pode-se observar que não existe significância no teste de variância, porém em relação ao fator umidade verifica-se que o Valor – P ( $p < 0,05$ ) é menor que o erro estimulado assim verifica-se uma relação significativa entre a umidade na torta e a umidade adicionada ao crambe de extração (Tabela 30).

Tabela 30: Análise de variância da umidade em torta para a extração de óleo dos grãos de crambe

<b>Fonte da variação</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>Valor-P</b>	<b>F crítico</b>
<b>Temperatura (°C)</b>	65,25486	3	21,751	1,9751	0,1888	3,8625
<b>Umidade Relativa (%)</b>	279,20	3	93,068	8,4509	0,0055	3,8625
<b>Erro</b>	99,1149	9	11,012			
<b>Total</b>	443,575	15				

Quando a umidade relativa é 0 %, ou seja, nenhuma água adicionada, os valores de umidade em óleo de crambe apresentam valores de 4,16 % e 6,61 %, para as duas últimas faixas de temperaturas analisadas no estudo (Tabela 31).

A umidade adicionada no estudo de extração do crambe influenciou significativamente a extração, pois em temperaturas baixas de 80 a 120 °C verificou-se que a extração não acontecia como consequência de dois fatores: a baixa temperatura da máquina não libera calor suficiente para a extrusão dos grãos, e a baixa umidade do crambe faz com que o processo de transformação do grão em torta não ocorra causando entupimento da máquina.

Mendonça (2012) em seu estudo com crambe notou também umidades de extração ótimas para a extração, e fora dos valores de 2 a 10 % de umidade a

máquina extrusora estudada não apresentava eficiência adequada.

Verifica-se também que quando é adicionada água para a extração a umidade cresce significativamente, e conseqüentemente a extração ganha eficiência, já que com mais água adicionada a extração tem-se conseqüentemente mais água como subproduto final da torta final do crambe, criando menos teor de cinzas e mais umidade na torta.

Como conseqüência da evaporação da água, em temperaturas mais elevadas como a faixa de 140 a 160 °C, comparada com a faixa de 80 a 100 °C, verifica-se que em temperaturas mais baixas existe maior umidade na torta com valores de 15,74 % e 12,45 %.

Tabela 31: Valores médios de fibra bruta e desvio padrão nos grãos de crambe extraídos em diferentes umidades relativas e temperaturas

<b>Umidade Relativa (%)</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>3,5</b>	<b>5</b>
<b>Temperatura (°C)</b>	<b>(%)</b>			
<b>80 - 100</b>	-	-	3,9	15,74
	-	-	(0,2650)	(0,3690)
<b>100 - 120</b>	-	-	9,58	13,71
	-	-	(0,3690)	(0,2587)
<b>120 - 140</b>	4,16	5,58	3,49	12,28
	(0,0160)	(0,6650)	(0,3258)	(0,2440)
<b>140 - 160</b>	6,61	10,74	11,03	12,45
	(0,6620)	(0,2150)	(0,2147)	(0,3690)

Pela análise de regressão múltipla dos dados experimentais de umidade em torta obtiveram-se os modelos polinomiais de terceira ordem (Figura 16). Não houve necessidade de expansão do modelo para a quarta ordem, ou adição de pontos axiais, já que a análise manteve-se com o coeficiente R<sup>2</sup> com valor correspondente a um, ou seja, 100 % do modelo de índice de acidez é explicado pelas equações polinomiais apresentadas.

Verifica-se através da análise de regressão que nas faixas de temperatura de rendimento máximo, representada pelo polinômio 140 – 160 °C, a curva característica obtém valores máximos de umidade em óleo com umidade adicionada de 5 %, ou seja, o valor correspondente de 12,45 % é o valor máximo de umidade para esta curva de valores.

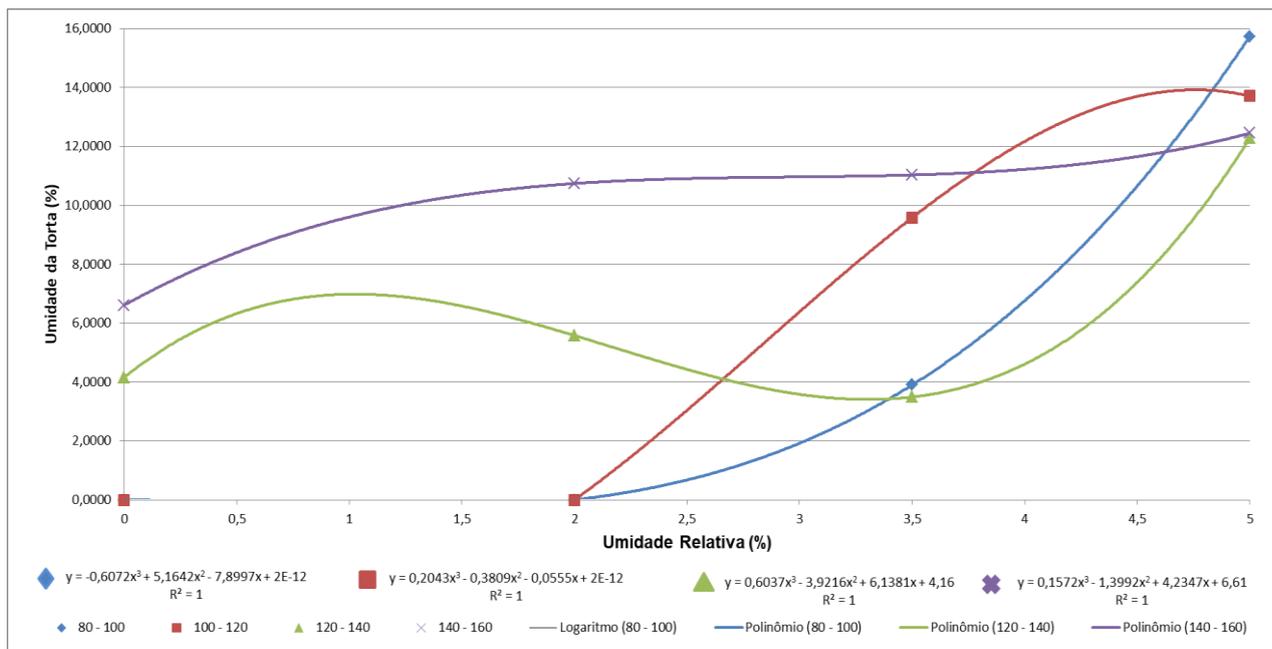


Figura 14: Análise de regressão em modelo polinomial para umidade da torta em extração de crambe em diferentes umidades relativas e temperatura.

#### 4.2.4 Análises para maior rendimento

Dado esse estudo ressalta-se que foi possível extrair óleo da semente de crambe utilizando extração mecânica, avaliando o rendimento do processo de extração pela prensa extrusora através da caracterização físico-química da torta e do óleo, extraídos em diferentes temperaturas do ar e umidades dos grãos.

Assim foi possível determinar um rendimento e uma faixa de temperatura e um teor de umidade adicionada ótimos dos grãos para extração de óleo e torta de crambe visando otimização de rendimento, variando a forma com que se utiliza o equipamento de prensagem bem como a temperatura do processo e a umidade adicionada dos grãos.

Consegue-se então confirmar a hipótese de que a forma com que se utiliza o equipamento de prensagem bem como a temperatura do processo e a umidade de grãos afetam o rendimento de óleo por prensagem.

Apresenta-se as análises físico-químicas e bromatológicas do óleo de crambe na extração de maior rendimento (Tabela 32).

Tabela 32: Análises físico-químicas e bromatológicas do óleo de crambe na extração de 140 a 160 °C e teor de umidade relativa de 5%

---

<b>Massa específica (kg m<sup>-3</sup>)</b>	0,837
<b>Viscosidade 25 °C (mm s<sup>-1</sup>)</b>	43,86
<b>Viscosidade 40 °C (mm s<sup>-1</sup>)</b>	37,14
<b>Viscosidade 50 °C (mm s<sup>-1</sup>)</b>	27,07
<b>Viscosidade 80 °C (mm s<sup>-1</sup>)</b>	22,34
<b>Índice de Acidez (mg g<sup>-1</sup> de KOH)</b>	2,59
<b>Umidade de Óleo (%)</b>	0,176
<b>Umidade de Torta (%)</b>	12,45
<b>Fibra Bruta (%)</b>	3,37
<b>Lipídios (%)</b>	19,23
<b>Proteína (%)</b>	26,8
<b>Amidos/Carboidratos (%)</b>	36,53
<b>Cinzas (%)</b>	5,04

---

## 5. CONCLUSÕES

Para as faixas de temperatura de 80 a 100 °C com 0,0 e 2,0 % de umidade relativa e 100 a 120 °C com 0,0 e 2,0 % de umidade relativa, não foi possível realizar a extração.

A faixa de temperatura de 140 a 160 °C e teor de umidade relativa de 5% o rendimento de óleo numérico será máximo (22,63 %). E o segundo maior rendimento está na faixa de temperatura de 120 a 140 °C com teor de umidade relativa de 2,0 % (20,19 %).

O rendimento de torta numérico mínimo se dá na faixa de temperatura de 140 a 160 °C e teor de umidade relativa de 5% (77,36 %). E o segundo menor rendimento numérico de torta está na faixa de 120 a 140 °C com teor de umidade relativa de 2,0 % (79,80 %).

Os valores de teor de cinzas das amostras de crambe diminuem quanto maior a água adicionada na amostra de crambe para a extração e quanto menor a temperatura.

Quando é adicionada água para a extração a umidade de torta cresce significativamente, e conseqüentemente a extração ganha eficiência criando menos teor de cinzas.

Em maiores faixas de temperatura a parte envoltória da semente é degradada devido ao excesso de calor, causando uma diminuição da porcentagem de fibra bruta. Em temperaturas inferiores a 120 °C, a porcentagem de cinzas na amostra de torta é menor.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLA, A. L. Utilização de subprodutos da indústria de biodiesel na alimentação de ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 37, n. spe, p. 260-268, July 2008.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL); AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (ANP). **Perspectivas da termelétricidade no Brasil: relatório técnico**. Brasília, 2000.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (ANP). **Provisional Brazilian Biodiesel Standard**. ANP, Brasília, DF, Brazil, 2003.

AGOPYAN, V.; **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. São Paulo: Editora Blucher, 2012.

ANTONIASSI, M.; CONCEIÇÃO, A. L. C.; POLETTI, M. E. "Characterization of breast tissues using Compton scattering". Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, **Detectors and Associated Equipment**, v. 19, n. 1-3, p. 375-378, 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. Resolução nº 482, de 23 de setembro de 1999, Regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de óleos e gorduras vegetais, **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, sv, p. 82 - 87, 1999.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). **Resolução RDC n. 270, de 22 de setembro de 2005**. Regulamento técnico para fixação de identidade e qualidade de óleos e gorduras vegetais. Brasília: Diário Oficial da União 2005.

ATADASHI, I. M. et al. The effects of water on biodiesel production and refining technologies: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 16, n. spe. p. 3456-3470, 2008.

AMERICAN OIL CHEMIST' SOCIETY (AOCS). **Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemist's Society**. Method Cc 17-95. 2008

AZÊVEDO A. G. et al. Composição Químico-Bromatológica, Fracionamento de Carboidratos e Cinética da Degradação in vitro da Fibra de Três Variedades de Cana-de-Açúcar (*Saccharum* spp.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 6, p. 1443-1453, 2003.

BAUDET, L.M.L. Armazenamento de sementes. In: PESKE, S.T.; ROSENTAL, M.D.; ROTA, G.R. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**, Pelotas: Ed. Universitária – UFPEL, v. 2, n. 6, p. 366-418, 2003.

BARROS NETO. B.; SCARMÍNIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e Otimização**

**de Experimentos.** Campinas: Editora da UNICAMP, 2003.

BENELLI, P. **Agregação de valor ao bagaço de laranja (*Citrus sinensis* L. osbeck) mediante obtenção de extratos bioativos através de diferentes técnicas de extração.** Dissertação - Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2010.

BEZERRA, P. H. S. Efeito do armazenamento na qualidade dos grãos e do óleo de crambe, para a produção de biodiesel. **Revista Botucatu.** v. 70, n.spe, 2014.

BINDGALVÃO. **Prensa Extrusora.** Disponível em: <http://www.bindgalvao.com.br/> Acesso em: 15 de abril de 2017.

BISPO, A. S. et al. Caracterização de óleos vegetais extraídos mecanicamente sob condições variadas, visando a produção de biodiesel. In: 4º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel; 7º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel, 2010, Belo Horizonte, MG. **Anais...** Belo Horizonte, MG: TECPAR, 2010.

BONDIOLI, P. et al. Native *Crambe abyssinica* oil and its derivatives as renewable lubricants: na prproach to improve its quality by chemicals and biotechnological processes. **Industrial Crops and Products**, v. 1, n. spe, p. 231-238, 1998.

BOUAID, A.; MARTINEZ, M.; ARACIL, J. Production of biodiesel from bioethanol and *Brassica carinata* oil: Oxidation stability study. **Bioresource Technology**, v. 100, p. 2234-2239, 2009.

BRAGANTE, A. G. **Tecnologia de Extração de Óleo.** [s.l.:s.n]. 2009.

BRÁS, P. **Caracterização nutricional de coprodutos da extração de óleo em grãos vegetais em dietas de ovinos.** Dissertação - Instituto de Zootecnia, Nova Odessa. 2011.

BRENNAN, J. G. **Food processing handbook.** Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, KGaA. Germany. 2006.

BRITO, D. M. C. **Aspectos do metabolismo de plantas de crambe (*Crambe abyssinica*) submetidas a diferentes doses de nitrogênio visando a produção de óleo para biodiesel.** Dissertação - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Química. 2009.

CAMPOS, M. L. **Ciclagem de nutrientes em florestas e pastagens.** 1998.

CANUTO, G. A. B. et al. Caracterização físico-química de polpas de frutos da Amazônia e sua correlação com a atividade anti-radical livre. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 1196-1205, 2010.

CARDOSO, D. A. Os tipos e efeitos da Rancidez Oxidativa em Alimentos. **Food Ingredients Brasil.** v. 29, n. spe, 2005.

CARLSON, K. D.; TOOKEY, H. L. Crambe meal as a protein source for feeds. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 60, p. 1979-1985, 1983.

CARRERA, R. A. et al. Protein co-products and by-products of the biodiesel industry for ruminants feeding. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 41, n. 5, p. 1202-1211, set./out. 2012.

CARVALHO, W. P. Desempenho agrônômico de plantas de cobertura usadas na proteção do solo no período de pousio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 2, p. 157-166, fev. 2013.

CERT, A.; W. MOREDA; M. C. PEREZ CAMINOS. "Chromatographic analysis of minor constituents in vegetable oils". **Journal of Chromatography A**, v. 881, p. 131-148, 2000.

CHISTE, R. C. et al. **Qualidade da farinha de mandioca do grupo seca. Ciênc. Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 4, p. 861-864, dec. 2006.

CHRISTIE, W. W. Lipid Analysis - Isolation, Separation, Identification and Structural Analysis of Lipids. 3rd edition. **The Oily Press**, 2003.

CHU, Y.; KUNG, Y. **A study on vegetable oil blends. Food Chemistry**, v. 62, n. 2, p. 191-195, 1998.

COLODETTI, T. V. et al. Crambe: Aspectos Gerais Da Produção Agrícola. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer. Goiânia, v. 8, n. 14; p. 258. 2012.

COSTA, T. L. **Características físicas e físico-químicas**. [s.l.:s.n.]. 2004.

COSTA, T. C. **Propriedades físicas e físico-químicas do óleo de duas cultivares de mamona**. Dissertação - Universidade Federal de Minas Gerais. Campina Grande. 2006.

CUNHA, M. D. **Caracterização de biodiesel produzido com misturas de matérias primas: sebo bovino, óleo de frango e óleo de soja**. Dissertação - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

DANKOWSKA, A. et al. Discrimination of edible olive oils by means of synchronous fluorescence spectroscopy with multivariate data analysis", **Grasas e Aceites**, v. 64, n. 4, p. 425-431. 2013.

DESAI, B. B.; KOTECHA, P. M.; SALUNKHE, D. K. **Seeds Handbook: Biology, Production Processing and Storage**. 10 ed. 1997.

ECHEVENGUÁ, A. **Crambe surge como nova opção para produzir biodiesel**. 2007. Disponível em: <[www.ecoeacao.com.br](http://www.ecoeacao.com.br)>. Acesso em: 22 de março de 2017.

EISBERG, R. E RESNIK, R. **Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**, 7ª ed., Rio de Janeiro, Campus. 1988.

EM DISCUSSÃO. **Escassez de água - Cada gota é preciosa Ano 5 - Nº 23** - Dezembro de 2014.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION. FAO. **Biofuels and the sustainability challenge: a global assessment of sustainability issues, trends and policies for biofuels and related feedstocks**. Trade and Market Division. Roma. v. 1, n. 2, p. 188, 2013.

FARIA JÚNIOR, C. A. **Adaptabilidade da cultura do crambe do Estado de Mato Grosso**. 67 f. Dissertação - Universidade do Estado do Mato Grosso. Tangará da Serra-MT. 2013.

FEROLLA, F. S. et al. Composição bromatológica e fracionamento de carboidratos e proteínas de aveia-preta e triticale sob corte e pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 37, n. 2, p. 197-204, 2008

FONTANA ,F. et al. Agronomic characterization of some Crambe abyssinica genotypes in a locality of the Po Valley. **European Journal of Agronomy**, sv, n.spe, p.117–126, 1998.

FREITAS, J. B.; NAVES, M. M. V. Composição química de nozes e sementes comestíveis e sua relação com a nutrição e saúde. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 269-279, 2010.

GOMES JUNIOR, S. B. **Avaliação técnica e econômica da aplicação de óleo vegetal de Crambe como isolante elétrico em comparação com óleo de soja**. Mestrado - Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC) em parceria com o Instituto de Engenharia do Paraná (IEP). CURITIBA. 2010.

HAMMOND, E.G. et al. Soybean Oil. In: SHAHIDI, F. **Bailey's Industrial Oil and Fat Products: Edible Oils**. v. 2, n.spe, 2005.

HELLER V. G.; EOBEEET W. The Indigestible Carbohydrates of Feeds. **The Journal of Nutrition**, v. 19, p. 141-149, 1939.

HELLER, J. Physical nut (*Jatropha curcas* L.): promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. **International Plant Genetic Resources Institute**, v.sv, n.spe, 1996.

HUANG, J. et al. **Biodiesel production from microalgae oil catalyzed by a recombinant lipase**. **Bioresource Technology**, v. 180, p. 47-53, 2015.

INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERAÇÃO PARA A AGRICULTURA IICA. **Tipologia Regionalizada dos Espaços Rurais Brasileiros: implicações no marco jurídico e nas políticas públicas/Carlos Miranda (Organizador da Série)**. Brasília. Série Desenvolvimento Rural Sustentável. v. 22, 2017.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL). **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz. sl.:sn, 2008.

JASPER, S. P. et al. Comparação do custo de produção do crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) com outras culturas oleaginosas em sistema de plantio direto. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 4, p. 141-153, 2010a.

JASPER, S. P. **Cultura do crambe (*Crambe abyssinica* Hochst): avaliação energética, de custo de produção e produtividade em sistema de plantio direto**. 120 f. Tese - Faculdade de Ciências Agrônômicas do Campus de Botucatu – UNESP. Botucatu-SP. 2009.

JASPER, S. P. et al. Caracterização físico-química do óleo e do biodiesel de crambe *Crambe abyssinica* Hochst. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE INGENIERÍA AGRÍCOLA E CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 9, 2010, Vitória. **Anais....**: SBEA, 2010b.

KAZMI, A. Advanced oil crop biorefineries. **Royal Society of Chemistry**. v.sv, n.spe. 2012.

KNOTHE, G. et al. **The Biodiesel Handbook**. v.sv, n.spe, 2006.

LUNELLI, I. E. et al. Effects of nutritional arrangements of NPK on the yield of grains and Crambe oil cultivation. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 8 n. 18, p. 2048-2052, 2013.

MACHADO, M. F. et al. **Estudo do crambe (*Crambe abyssinica*) como fonte de óleo para produção de biodiesel**. Dissertação - Universidade Federal de Minas Gerais. Itaúna, 2007.

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

MARIANO, R. G. B.; COURI, S.; FREITAS, S. P. Enzymatic technology to improve oil extraction from *Caryocar brasiliense* camb. (Pequi) Pulp. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 637-643, sept, 2009.

MELO, M. A. M. F. **Avaliação das Propriedades de Óleos Vegetais visando a Produção de Biodiesel**. 2010. 118p. Dissertação - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

MELLO, D. F. et al. Avaliação do resíduo de nabo forrageiro extraído da produção de biodiesel como suplemento para bovinos de corte em pastagens. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 9, p. 45-56, 2008.

MOSSE, J.; BAUDET, J. Crude protein content and aminoacid composition of seeds: variability and correlations. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 32, p. 225-245,

1983.

MENDONÇA, B. P. C. **Coproduto do crambe na alimentação de bovinos**. Viçosa, Minas Gerais, 2012.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. AGENCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4a ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2005.

MIRANDA, I. C.; ARAÚJO, C. R.; MOTHÉ, C. G.; Utilização da biomassa para fins energéticos e inserção da matriz energética mundial: panorama atual e perspectiva futura; **Revista Analítica**, v. 26, n. 4, p. 98-111, 2010.

MORETTO, E.; FEET A. **Óleos e gorduras vegetais: processamento e análises**. Florianópolis: Ed. da UFSC. Cidade, sl.:sn, 1998.

MPAGALILE, J. J., HANNA, M.A., WEBER, R. Design and testing of a solar photovoltaic operated multi-seeds oil press. **Renewable Energy**, v. 31, p.1855-1866, 2006.

NEIVA JÚNIOR, A. P. et al. Subprodutos agroindustriais do biodiesel na alimentação de ruminantes. In: congresso da rede brasileira de tecnologia e produção de biodiesel, 2., 2007, Brasília. **Anais...** Brasília: p.1-6, 2007.

NEVES, C. et al. Cassava processing wastewater as a platform for third generation biodiesel production. **Revista Piracicaba**.Piracicaba, v. 73, n. 5, p. 412-416, oct. 2016.

OHLSON, I. S. R. Modern processing of rapeseed. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 69, p. 195-198, 1992.

ONOREVOLI, B. **Estudo do *Crambe abyssinica* como Fonte de Matérias Primas oleaginosas: óleo vegetal, ésteres metílicos e bio-óleo**. Dissertação - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre Rio Grande do Sul, 2012.

ONOREVOLI, B.; JACQUES, R. A.; CARAMÃO, E. B. **Caracterização preliminar do bio-óleo produzido pela pirólise de biomassa de *Crambe abyssinica***. Trabalho apresentado durante o 16º Encontro Anual de Química Analítica (ENQA), Campos do Jordão - São Paulo, out. 2011.

OPLINGER, E. S. et al. Crambe, alternative field crops manual. University of Wisconsin and University of Minnesota. **St. Paul**, MN 55108. jul, 1991.

OSAWA C. C.; GONÇALVES L. A. G. Titulação potenciométrica aplicada na determinação de ácidos graxos livres de óleos e gorduras comestíveis. **Química Nova**, v. 29, n. 3, p. 593-599, 2006.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: INPE, 2006.

PEREYRA-IRUJO, G. A. et al. Variability in sunflower oil quality for biodiesel production: a simulation study. **Biomass & Bioenergy**, v. 3, p. 59-468, 2009.

PIGHINELLI, A. L. M. T. et al. Otimização da prensagem a frio de grãos de amendoim em prensa contínua tipo *expeller*. **Ciência e Tecnologia de Alimentos, SBCTA**, v. 28, p. 66-71, 2008.

PIGHINELLI, A. L. M. T. et al. Otimização da prensagem de grãos de girassol e sua caracterização. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p. 63-67, 2009.

PIGHINELLI, A. L. M. T. Estudo da extração mecânica e da transesterificação etílica de óleos vegetais. Campinas, SP: [s.n.], 2010.

PINHEIRO, D. M. PORTO K. R. A. MENEZES, M. E. S. **A Química dos Alimentos: carboidratos, lipídeos, proteínas, vitaminas e minerais**. Maceió – Alagoas. 2005.

PITOL, C. et al. **Pragas, doenças e invasoras**. In: **FUNDAÇÃO MS**. Tecnologia e produção: crambe 2010. Maracajú: FUNDAÇÃO MS, p. 37-41, 2010a.

PITOL, C. et al. **Tecnologia e produção: crambe**. [s.l.:s.n] . 2010b.

POMINSKI, J.; PEARCE, H. M.; SPADARO, J. J Partially defatted peanuts – factors affecting oil removal during pressing. **Food Technology**, v. 24, p. 92-94, 1970.

PRADO R. T. A; JOHN M. V. **Boas práticas para habitação mais sustentável**. São Paulo: Páginas & Letras - Editora e Gráfica, 2010.

PREDOJEVIC, Z. J. The production of biodiesel from waste frying oils: a comparison of different purification steps. **Fuel Journal**, v. 87, p. 3522-3528, 2008.

RAMALHO, H. F.; SUARES, P. A. Z. A química dos Óleos e Gorduras Processos de Extração e Refino. **Revista Virtual de Química**, Brasília, v. 5, n. 1, p. 5-15, 2013.

RAMOS, L. P.; WILHELM, H. M. Current status of biodiesel development in Brazil. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 121, n. 124, p. 807-820. 2005.

REDA, S. Y. **Estudo Comparativo de Óleos Vegetais Submetidos a Estresse Térmico**. Dissertação - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2004. p.153, 2004.

RIBEIRO, D. D.; DIAS, M. S. **Efeitos do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel no território camponês em assentamento rural**. Interações (Campo Grande), Campo Grande, v. 17, n. 1, p. 15-21, mar, 2016.

RODRIGUES FILHO, M. G. **Cardanol e Eugenol Modificados – Uso Como Antioxidantes no Controle do Processo Oxidativo do Biodiesel Etílico de Algodão**. Tese - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

SANTOS, G. G. et al. Aceitabilidade e qualidade físico-química de paçocas elaboradas com amêndoa de baru. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 159-165, 2012.

SANTOS, M. F. G. et al. Minor componentes in oils obtained from Amazonian palms fruits. **Grasas y Aceites**, Madrid, v. 64, n. 5, p. 531-536, 2013.

SANTOS, S. S. **Processo De Descasque De Crambe (Crambe Abyssinica Hochst) Visando A Extração De Óleo E Armazenamento**. Dissertação – Universidade de São Paulo, Botucatu, São Paulo, 2016.

SCRIMGEOUR, C. Chemistry of Fatty Acids In: SHAHIDI, F. (Org.) **Bailey's Industrial Oil & Fat Products** 6<sup>a</sup> ed. v.1, John Wiley & Son, New York p. 565-576, 2005.

SHAHIDI, F.; ZHONG, Y. Lipid Oxidation: Measurement Methods. In: SHAHIDI, Fereidoon. **Bailey's Industrial Oil and Fat Products**. 6. ed., v. 1, cap. 8, p. 357-386. 2005.

SILVA, C. et al. **Determinação Do Índice De Acidez Em Óleo De Milho Para Produção De Biodiesel**. o Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Maranhão. CONNEPI. 2010.

SILVA A. et al. **Effect Of Storage Of Grain In The Quality Oil And Biodiesel Crambe**. Botucatu, 2014. 74 p. Dissertação – Universidade Estadual Paulista. 2014.

SILVA, L. M. M. et al. Avaliação das características físicas e físico-químicas da pupunha. **Revista Verde**, Pombal, v. 8, n. 3, p. 5-8, 2013a.

SILVA, M. A. P. et al. **Efeito do sistema de secagem de crambe (Crambe abyssinica Hochst) na qualidade dos grãos e do óleo para produção de biodiesel**. Dissertação - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2013b.

SILVA, M. A. P. et al. Qualidade do óleo bruto de grãos de crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) sob diferentes métodos de secagem. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 28, n. 3, p. 193-199, 2013c.

SILVA, F. S. et al. Viabilidade do armazenamento de sementes em diferentes embalagens para pequenas propriedades rurais. *Revista de Ciências Agroambientais*, **Alta Floresta**, v. 8, n. 1, p. 45-56, 2009.

SIMEPAR. **Temperatura e Índice Pluviométrico de Cascavel**. Disponível em: <<http://www.simepar.br>> Acesso em: 06 mai. 2017.

SINGH A. et al. Influence of moisture content and cooking on screw pressing of crambe seed. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v. 79, p. 165-170, 2002.

SINGH, J., BARGALE, P.C. Development of a small capacity double stage compression screw press for oil expression. **Journal of Food Engineering**, v. 43, p. 75-82, 2000.

SOUZA, A.D.V. et al. Caracterização química de sementes e tortas de pinhão-mansão, nabo forrageiro e crambe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 10, p. 1328-1335, 2009.

SOUZA, T. B. **Revisão da equação de cálculo de índice de cetano para as características do diesel comercializado no Paraná**. Dissertação - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

SPINELLI, V. M. et al. Componentes primários e secundários do rendimento de óleo de pinhão-mansão. **Ciência Rural**, v. 40, p. 1752-1758, 2010.

SRIKANTHA, P. V. R. A search for an appropriate technology for village oil industry. India; **Lucknow (India) Publications**, 1980.

STACHIW, R. et al. Potencial de produção de biodiesel com espécies oleaginosas nativas de Rondônia, Brasil. **Acta Amazônia**, Manaus, v. 46, n. 1, p. 81-90, mar. 2016.

THOMPSON, J. C. et al. Characterization of crude glycerol from biodiesel production from multiples feedstoks. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 22, p. 261-265, 2006.

TORRES, R.S. Composição centesimal e valor calórico de alimentos de origem animal. **Ciênc. Tecnol. Aliment.** v. 20 n. 2, p. 145-150, 2000.

TRENTINI, C. P. et al. Low-pressure solvent extraction of oil from macauba (*Acrocomia aculeata*) pulp: characterization of oil and defatted meal. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 4, p. 725-731, apr. 2016.

ULIAN, G. et al. Water management assessment methodology for urban planning. **Revista Ambiental Água**, Taubaté, v.12, n.1, p.33-46, feb. 2017.

VIANA, O. H. **Cultivo de crambe na região oeste do Paraná**. Dissertação - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel. 2013.

VIEIRA, S. **Análise de variância: ANOVA**. 1ª ed;. Reimpressão. São Paulo: Atlas, 2006.

VIRGENS, I. O. et al. Revisão: *Jatropha curcas* L.: aspectos morfofisiológicos e químicos. **Braz. J. Food Technology**. Campinas, v. 20, 2017.

VITAL M. F. Impacto ambiental de florestas de eucalipto. Rio de Janeiro. **Revista do BNDES**. v. 14, n. 28, p. 235-276, dez. 2007.

WEISS, E. A. Oilseed crops. London: **Blackwell Science**, p. 364, 2000.

ZHOU, Z. et al. Ageing of stored rice: changes in chemical and physical attributes. **Journal of Cereal Science**, v. 35, p. 65-78, 2002.