

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ**  
**CAMPUS DE CASCAVEL**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**QUALIDADE DA LINHAÇA MARROM E DOURADA OZONIZADAS E ARMAZENADAS**  
**EM EMBALAGENS**

**TAISE RAQUEL BECHLIN**

**Cascavel**

**Janeiro - 2019**

**TAISE RAQUEL BECHLIN**

**QUALIDADE DA LINHAÇA MARROM E DOURADA OZONIZADAS E ARMAZENADAS  
EM EMBALAGENS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas Biológicos e Agroindustriais.

Orientador: Dr. Divair Christ

Co-orientador(a): Dr. Clair Aparecida Viecelli

**Cascavel**

**Janeiro - 2019**

## BIOGRAFIA

Graduação: Engenharia Agrícola e Ambiental, ano de conclusão 2014 – Universidade Federal de Mato Grosso, *Campus Sinop*.

### Atuação Acadêmica

2010 - 2011 Vínculo: Bolsista/PIBIQ/UFMT, Enquadramento funcional: Bolsista, Carga horária: 20. Regime: Dedicção exclusiva. Projetos de pesquisa: Composição e diversidade da comunidade edáfica de Formicidae (Insecta, Himenoptera).

2013 - 2014 Vínculo: Bolsista/PIBIQ/UFMT, Enquadramento funcional: Bolsista, Carga horária: 20. Regime: Dedicção exclusiva. Projetos de pesquisa: Cinética de secagem, propriedades físicas e higroscópicas de grãos de sorgo.

2017: Ingressou no Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, na área de concentração de Sistemas Biológicos e Agroindustriais na linha de pesquisa Tecnologia de Produção Vegetal e Pós-Colheita.

*“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”. (Madre Teresa de Calcutá)*

## DEDICATÓRIA

*Aos meus pais Anildo e Irene Bechlin*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus e toda minha família, meus pais, Anildo Emilio Bechlin e Irene Bechlin e irmãos Odemir Romário Bechlin e Tamaris Noslei Bechlin que sempre me apoiaram e incentivaram;

Ao meu orientador, Professor Dr. Divair Christ, e Co-orientadora Professora Dr. Clair Aparecida Viecelli, por todo apoio, ensinamento e compreensão das mudanças ocorridas durante estes anos de estudo e pesquisa;

Aos colegas de laboratório Diane Maschio, Vanessa Mendes e Ivan Wernck por toda ajuda no decorrer deste estudo;

Ao meu companheiro de vida e de pesquisa Suian por todo apoio, incentivo e ajuda no desenvolvimento desse trabalho e à minha filha Stella, que enche meus dias de alegria ao abrir um sorriso e que me deram forças e o amor necessários para concluir mais essa etapa em minha trajetória;

Agradeço também à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por conceder a bolsa de estudos de Mestrado que me permitiu dedicação exclusiva a essa pesquisa; Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e sua equipe.

# QUALIDADE DA LINHAÇA MARROM E DOURADA OZONIZADAS E ARMAZENADAS EM EMBALAGENS

## RESUMO

A linhaça (*Linum usitatissimum* L.) é rica em substâncias com propriedades funcionais. Entretanto, a conservação dessas propriedades depende de boas práticas pós-colheita e de métodos de sanitização e armazenamento adequados. Deste modo, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a aplicação de ozônio em linhaça marrom e dourada acondicionadas em diferentes tipos de embalagens e tempo de armazenamento e suas possíveis influências na qualidade do óleo, sob os níveis de teor de água, contagem de fungos, determinação de lipídios, ácidos graxos livres, índice de peróxidos e parâmetros de cor. Para isso foi utilizado um delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x2, sendo, 3 tipos de embalagens, embalagem E1 (sacos de papel revestidos internamente com polietileno) e embalagem E2 (plástico polipropileno) e o controle (C) e tempo de armazenamento, antes e após (0 e 90 dias) de armazenamento, com cinco repetições de 1,5 kg cada. Os efeitos das condições de tratamento foram avaliados usando análises de variância, seguidas de teste de Tukey, valores significativos foram reportados ao nível  $\alpha = 0,05$ . De acordo com os resultados obtidos a ozonização em diferentes tipos de embalagem não influenciou nos resultados dos parâmetros teor de água e Índice de peróxidos antes e após o armazenamento em linhaça marrom e dourada. A variedade de linhaça dourada apresentou elevação de ácidos graxos livres após o armazenamento, bem como nos valores médios de contagem de fungos, entretanto estes valores médios encontrados para ambas as variedades estão de acordo com os níveis considerados seguros para o consumo. O teor de lipídios foi influenciado pelo fator embalagem para ambas as variedades de linhaça sendo que, para linhaça marrom a embalagem E1 apresentou melhor conservação mantendo os valores após o armazenamento. Já para linhaça dourada não foram constatadas diferenças significativas nos valores de lipídios após o armazenamento em nenhuma das embalagens, o índice de ácidos graxos foi influenciado apenas pelo armazenamento. Os parâmetros de cor foram influenciados pelo tipo de embalagem antes do armazenamento, ou seja, logo após a ozonização, sendo que a embalagem E1 apresentou valores semelhantes ao controle indicando que os grãos não sofreram alterações devido à exposição ao gás ozônio. Deste modo pode-se afirmar que a embalagem de sacos de papel revestidos internamente com polietileno apresentou melhor conservação de lipídios e manutenção dos parâmetros de cor, sendo esta a mais recomendada para o armazenamento de linhaça marrom. Para linhaça dourada são necessários mais estudos para determinar qual a melhor embalagem para ozonização e armazenamento.

**Palavras-chave:** Descontaminação fungica, armazenamento, embalagens, óleo de linhaça.

# EVALUATION OF OIL QUALITY CONDITIONING AND OZONIZATION IN BROWN AND GOLDEN LINES

## SUMMARY

Flax (*Linum usitatissimum* L.) is rich in substances with functional properties. However, the conservation of these properties depends on good post-harvest practices and adequate sanitation and storage methods. The objective of this work was to evaluate the application of ozone in brown and golden flaxseed grown in different types of packaging and storage time and its possible influences on the quality of the oil, under the levels of water content, fungi count, determination of lipids, free fatty acids, peroxide index and color parameters. For this, a completely randomized experimental design was used, in a 3x2 factorial scheme, 3 types of packages, E1 (paper bags lined internally with polyethylene) and E2 (polypropylene plastic) packaging and control (C) and storage time, before and after (0 and 90 days) storage, with five replicates of 1.5 kg each. The effects of the treatment conditions were evaluated using analysis of variance, followed by Tukey's test, significant values were reported at the  $\alpha = 0.05$  level. According to the results obtained the ozonation in different types of packaging did not influence the results of the parameters water content and peroxide index before and after storage in brown and gold flaxseed. The variety of golden flaxseed showed a rise in free fatty acids after storage, as well as mean values of fungi counts higher than those of brown flaxseed, indicating higher contamination, however, these average values found for both varieties are in agreement with the considered levels safe for consumption. The lipid content was influenced by the packing factor for both varieties of linseed, and for brown flaxseed the packaging of paper bags coated internally with polyethylene presented better conservation maintaining the values after storage. As for gilded linseed, no significant differences were observed in the lipid values after storage in any of the packages, the fatty acid index was influenced only by storage. The color parameters were influenced by the type of packaging before the storage, that is, soon after the ozonation, and the packaging E1 presented values similar to the control indicating that the grains were not altered due to exposure to the ozone gas. In this way it can be affirmed that the packaging of paper bags lined internally with polyethylene presented better conservation of lipids and maintenance of color parameters, which is the most recommended for the storage of brown flaxseed. For gold flaxseed, further studies are needed to determine the best packaging for ozonation and storage.

**Keywords:** Fungal decontamination, storage, packaging, linseed oil



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>1</b>
2.1	Objetivo geral	2
2.2	Objetivos específicos	2
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>3</b>
3.1	Linhaça	3
3.2	Óleo de Linhaça	5
3.3	Acondicionamento e incidência fúngica	8
3.4	Geração e propriedades do gás ozônio	10
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>12</b>
4.1	Amostragem e local da experimentação	12
4.2	Delineamento experimental	12
4.3	Acondicionamento e ozonização	12
4.4	Análises dos grãos	12
4.4.1	<i>Determinação do teor de água</i>	12
4.4.2	<i>Contagem de fungos totais</i>	12
4.5	Análises e extração do óleo	13
4.5.1	<i>Extração do óleo de linhaça por prensagem a frio</i>	13
4.5.2	<i>Determinação de lipídios</i>	13
4.5.3	<i>Determinação de ácidos graxos livres</i>	14
4.5.4	<i>Determinação do índice de peróxidos</i>	14
4.5.5	<i>Determinação dos parâmetros de cor</i>	14
4.6	Análise estatística	15
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>17</b>
5.1	Contaminação fúngica	17
5.2	Índice de peróxido	17
5.3	Lipídios, ácidos graxos e teor de água	18
5.4	Parâmetros de cor	21
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>23</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>25</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>26</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ilustração de linho seccionada, com destaque para (a) flores, (b) cápsula e (c) sementes (adaptado de Cloutier, 2016). .....	3
Figura 2 Etapas das reações de rancidez oxidativa. ....	7
Figura 3 Prensa mecânica adaptada para extração de óleo de linhaça. ....	13
Figura 4 Representação gráfica no espaço de cor do CIELab (adptado de Kusumaningrum et al. (2015)) .....	15
Figura 5 Valores de contagem de fungos em grãos de (a) linhaça Marrom e (b) Dourada , antes (A) e após (B) o armazenamento. ....	17

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Comparação entre as variedades de linhaça Marrom e Dourada.....	5
Tabela 2 Valores de P da Anova para lipídios e teor de água dos grãos e ácidos graxos do óleo de linhaça marrom e dourada ozonizados, sob diferentes tipos acondicionamento e tempo de armazenagem e interação dos fatores. ....	18
Tabela 3 Valores médios de lipídios, ácidos graxos e teor de água obtidos para cada tipo de embalagem antes e depois da armazenagem de linhaça marrom e dourada, analisados em duplicada. ....	19
Tabela 4 Valores de P da Anova para parâmetros de cor do óleo de linhaça marrom (A) e dourada (b) ozonizadas, sob diferentes tipos de acondicionamento e tempo de armazenagem e interação dos fatores. ....	21
Tabela 5 Valores médios dos parâmetros de cor de óleo bruto de linhaça marrom e dourada, obtidos após ozonização em diferentes embalagem, antes e depois da armazenagem, analisados em duplicada. ....	22

## 1 INTRODUÇÃO

A linhaça (*Linum usitatissimum* L.) é um grão oleaginoso, de cor marrom ou amarelo dourado, reconhecido como alimento funcional por ser rico nos ácidos graxos poli-insaturados  $\alpha$ -linolênico (ALA) e, em menor quantidade, linoleico (AL), além de conter teores significativos de proteína vegetal, fibra alimentar solúvel e insolúvel, goma ou mucilagem, ácidos fenólicos, flavonoides, ácido fítico, vitaminas e minerais. Todas essas substâncias consideradas importantes devido aos efeitos benéficos à saúde.

Por ser um alimento altamente perecível, a linhaça requer cuidados desde a semeadura, colheita, manuseio e, principalmente, na conservação durante o armazenamento, pois pode sofrer alterações de qualidade por deterioração química, enzimática e microbiológica (CORDEIRO et al., 2009). Durante o armazenamento, os grãos de linho podem sofrer oscilações de umidade, temperatura e presença de luz, que poderão desencadear reações de degradação enzimáticas e não enzimáticas, e reações de oxidação, reduzindo os teores de ácidos graxos insaturados presentes nos grãos e resultando em um produto indesejável para o consumo humano (OETTERER et al., 2006).

A riqueza em gordura pode influenciar o armazenamento, pois a gordura dos alimentos constitui uma fração bastante instável, e alimentos ricos em tal substância rancificam-se facilmente (SILVA; QUEIROZ, 2002). Devido à falta de cuidados na comercialização a granel e algumas vezes embalada, as sementes de linhaça, como a maioria dos produtos agrícolas, podem ser alvo de microrganismos deteriorantes, tais como fungos que além de degradar o alimento podem prejudicar a saúde humana (KAWASHUMA; SOARES, 2006).

Para que a qualidade dos grãos e cereais adquiridos a campo seja mantida nas fases pós-colheita, muitos fatores (bióticos e abióticos) devem ser considerados, bem como o tipo de acondicionamento, que deve ser adequado ao produto a ser armazenado, e a utilização de agentes controladores com propriedades sanitizantes, como o Ozônio ( $O_3$ ) que vem se destacando por suas diversas possibilidades de utilização, com eficácia comprovada no controle de insetos pragas, fungos e micotoxinas, facilidade de geração, além de não deixar resíduos nos grãos.

Deste modo são cruciais os cuidados durante o processamento, armazenamento e condições de embalagens. Tendo em vista que a ozonização pode ser uma alternativa para o controle e melhoria da qualidade de produtos alimentícios e agrícolas. Entretanto, é crucial conhecer bem quais são as influências desses procedimentos para que sejam tomadas as melhores decisões, para isto, são necessários trabalhos que avaliem os efeitos desses processos também nas características físico-químicas dos grãos de linhaça e na qualidade do óleo durante o armazenamento, permitindo estabelecer melhores condições de acondicionamento com aplicação de ozônio em linhaça.

## 2 OBJETIVOS

## 2.1 **Objetivo geral**

Objetivou-se com este estudo analisar a aplicação de ozônio em diferentes tipos de embalagens, sendo eles embalagem E1 (sacos de papel revestidos internamente com polietileno) e embalagem E2 (plástico polipropileno) antes e após o armazenamento (0 e 90 dias) e suas possíveis influências na qualidade do óleo em linhaça marrom e dourada,

## 2.2 **Objetivos específicos**

- Analisar as possíveis influências dos tratamentos (embalagens e ozonização) na qualidade dos óleos em linhaça marrom e dourada antes e após o armazenamento;
- Avaliar os possíveis efeitos da ozonização em diferentes embalagens sobre os níveis de contagem de fungos total (CFT), teor de água e lipídios dos grãos, antes e após o armazenamento.
- Avaliar os possíveis efeitos da ozonização em linhaça marrom e dourada em diferentes embalagens na qualidade do óleo, sobre os níveis de índice de peróxido, ácidos graxos livres e parâmetros de cor, antes e após o armazenamento.
- Determinar o melhor tipo de embalagem para ozonização e armazenamento dos grãos.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Linhaça

A linhaça é o fruto do linho (*Linum usitatissimum* L.), uma planta herbácea pertencente à família das Lináceas. As sementes, ou seja, os frutos do linho, apresentam-se em forma de cápsula esférica, chamados de cachopas, que contém duas sementes em cada um dos cinco compartimentos, as sementes tem formato chato e arredondado, com extremidade pontiaguda, medindo 2 mm de diâmetro. Podendo ser de cor amarela a marrom-claro, totalizando cerca de 10 sementes por cápsula, com variações de sete a 11 sementes em cada uma. (COSKUNER; KARABABA, 2007; JACINTO, 2007). Na figura 1 temos uma representação geral onde (a) apresenta a variação de cor das flores, (b) a cápsula fechada e aberta e (c) a variação de cor das sementes.



Figura 1 Ilustração de linho seccionada, com destaque para (a) flores, (b) cápsula e (c) sementes (adaptado de Cloutier, 2016).

O linho foi uma das primeiras plantas a serem domesticadas por humanos e tem sido cultivada há cerca de 4.000 anos nos países mediterrâneos (TRUCOM, 2006). Registros históricos apontam algo entre 5000 a 2500 anos A.C. Na Mesopotâmia e em outros países mediterrâneos, como também no Egito. A partir de 1995, a linhaça emergiu como um importante alimento funcional, passando a ter um maior incentivo a sua produção com a intensificação de estudos científicos a respeito das propriedades das sementes e o desenvolvimento de novas técnicas de cultivo (OLIVEIRA et al, 2012).

Existem três variedades de linho, definidas de acordo com a sua utilização, sendo elas: Linho de fibra utilizado por indústrias têxteis, linho de sementes para consumo e produção de óleo e o linho obtido a partir do cruzamento das duas para se obter dupla produção satisfatória (LIMA, 2007). Em relação à coloração das sementes de linhaça temos a marrom e a dourada, a qual é definida de acordo com a quantidade de pigmentos da camada externa, que atuam como uma forma de proteção contra a irradiação solar, sendo que quanto mais intensa for a irradiação maior a pigmentação (TRUCOM, 2006). Em geral, a semente marrom é oriunda de variedade de linhaça cultivada em regiões de clima quente e úmido e a dourada em regiões frias.

Grandes quantidades de linhaça são produzidas globalmente, com uma produção total de 2,3 milhões de toneladas registradas em 2009/2010 (RABETAFIKA et al., 2011 ) e uma produção menor de 1.173 milhões de toneladas em 2014 ( FAO, 2017 ). A produção da variedade marrom é predominante em países de clima quente e úmido, como o Brasil, onde seu cultivo é predominante devido a melhor adaptação ao clima, ao solo e as técnicas de manuseio. A variedade dourada vem sendo produzida no Brasil desde 2006, porém em menor escala, sendo ainda em maior parte importada de países de clima frio, como Estados Unidos e Canadá (CUPERSMID et al., 2012). Sendo que no país a sua produção se concentra na região sul. De acordo com o relatório do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2015 sobre a produção agrícola municipal, no Rio Grande do Sul foram produzidas 16.159 toneladas em 2010 e 12.245 toneladas em 2015. Sendo que quase 15% desta produção foram de linhaça dourada.

A humanidade tem consumido a linhaça desde a antiguidade e as evidências de seus benefícios nutricionais são indiscutíveis. Do caule da planta é retirada a fibra do linho, matéria-prima para a fabricação de tecidos, e do grão são extraídos e comercializados o óleo, gerando o farelo de linhaça, porção desengordurada, muito utilizada na fabricação de rações animais. Nos últimos tempos grande atenção vem sendo dada ao consumo dos grãos na alimentação humana, devido à sua composição nutricional e compostos bioativos (NOVELLO; POLLONIO, 2012). Apesar de usada há milênios na alimentação humana, a maior parte do cultivo é destinada às indústrias têxteis, de óleo, de tintura e de ração animal (MARQUES, 2008).

De acordo com Cosmo et al. (2014), o óleo de linhaça também é utilizado na produção de sabões, borrachas sintéticas, proteção de madeiras, massa para vidro, cosméticos, entre outros. No Brasil o principal destino da linhaça é na indústria, na qual utilizam o óleo como componente de secante de tintas, vernizes, corantes e linóleos. Também existem estudos para o uso da linhaça na produção de biodiesel/biolubrificante (OLIVEIRA et al., 2012).

### 3.2 Óleo de Linhaça

O óleo de linhaça é um dos óleos oriundos de sementes mais predominantes em clima temperado. Destaca-se pelo rico conteúdo em  $\alpha$ -linolênico (HALL et al., 2016), o qual confere a este óleo propriedades importantes para aplicação alimentícia. A produção mundial de óleo de linhaça é da ordem de 2,3 a 2,5 milhões de toneladas anuais, sendo o Canadá o principal produtor. Na América do Sul, o maior produtor é a Argentina, com cerca de 80 toneladas por ano. O Brasil possui baixa produção com apenas 21 toneladas anual (MOURA, 2008).

O óleo de linhaça pode ser obtido por prensagem a frio ou extraído por solventes, entretanto, esta última extração se aplica ao uso industrial não relacionado à alimentação, direcionado, por exemplo, à produção de tintas e vernizes (GOYAL et al., 2014). O rendimento médio do óleo de linhaça prensado a partir das sementes varia de 35% a 50% do peso da semente. Os ácidos graxos mais frequentemente encontrados no óleo de linhaça são: ácido palmítico (6%), ácido esteárico (2,5%), ácido oleico (19%), ácido linoleico (13%) e ácido alfa-linolênico (55%). O teor de óleo e a composição de ácidos graxos podem variar devido à adaptação das culturas às condições climáticas regionais, bem como aos efeitos ambientais (CLOUTIER et al., 2011). A composição química da linhaça varia de acordo com a variedade, as condições de semeadura e crescimento. De acordo com a tabela brasileira de composição de alimentos (TACO) os constituintes químicos dos grãos (%) se estabelecem em proteínas (14,1), carboidratos (43,3), cinzas (3,7) e lipídeos (32,3) (NEPA-UNICAMP, 2011).

Tabela 1 Características nutricionais de linhaça Marrom e Dourada

<b>Componentes (g/100g)</b>	<b>Linhaça marrom</b>	<b>Linhaça dourada</b>
Proteína	19,1	21,6
Lipídios totais	33,7	34,8
Fibras	28	22,5
Valor energético total (Kcal/100g)	417	441
Ácido $\alpha$ -linolênico	58,4	58,3
Ácido linoleico	13,3	13,4
Vitamina E	7,5	7,4

Fonte: Adaptado de Núcleo De Estudos e Pesquisas em Alimentação (2011).

A linhaça é classificada como oleaginosa, devido ao seu elevado teor de lipídeos, seu óleo constitui uma das maiores fontes de linolênico (18:3) (45% a 60%) e linoleico (18:2) (15%



a 18%), além de frações de outros ácidos graxos, estruturalmente organizados na forma de triglicerídeos (WANG; ERHAN, 1999).

Setenta e cinco por cento do lipídio é armazenado nos cotilédones, com o restante 22% e 3% do lipídio distribuídos no revestimento da semente e embrião, respectivamente ( DAUN et al., 2003 ). Nutricionalmente, o lipídeo é o componente químico mais atraente da linhaça devido ao seu balanço favorável de ácidos graxos poliinsaturados a monoinsaturados e saturados ( CARTER, 1993 ). O conteúdo de óleo no grão de linhaça se apresenta entre 35% e 45%, sendo que 70% desse total tratam-se de ácidos graxos poli-insaturados, 20% de monoinsaturados (palmitoléico, oléico, gadoléico, erúcico e nervônico) e 10% saturados (cáprico, láurico, mirístico, pentadecílico, palmítico, margárico, esteárico, araquídico, behênico e lignocérico) (TARPILA et al., 2005, NEPA-UNICAMP, 2011; USDA, 2017).

Os ácidos graxos poli-insaturados (AGPI) constituem-se de duas famílias de ácidos graxos (AG)s, são eles ômega 3 ( $\omega$  3 ou n-3), também denominado família do ácido alfa-linolênico (ALA) e ômega 6 ( $\omega$  6 ou n-6), conhecido como a família do ácido linoleico (LA) tratam-se de ácidos graxos distintos entre si pela localização da primeira dupla ligação contida na molécula a partir do grupo metil terminal do ácido graxo (MOREIRA; MANCINI FILHO, 2004). Ambos ALA e LA são considerados ácidos graxos essenciais (AGE), pois os seres humanos não são capazes de sintetizá-los por não possuírem dessaturases que introduzam duplas ligações além do carbono 9 (MAHAN; ESCOTT- STUMP, 1998). Os AGE não podem ser biossintetizados pelo organismo humano, necessitando, desta forma, serem adquiridos a partir da alimentação.

O ALA corresponde à forma vegetal dos AG sendo os óleos de soja e canola as principais fontes dietéticas, todavia a linhaça destaca-se como sendo a fonte vegetal mais rica nesse ácido graxo (BALKET al., 2006). Os óleos de soja, milho, algodão, girassol ou canola têm um teor de LA de 35 a 37%. Estes óleos contêm menos de 2% de ALA, com exceção do óleo de soja de 3% ALA.

A elevada proporção de ácidos graxos poli-insaturados tem ampla relação com as baixas temperaturas de fusão que caracterizam os óleos extraídos de sementes oleaginosas, líquidos à temperatura ambiente, tais como a linhaça e a soja. A conformação espacial, associada ao número e às posições das insaturações, exerce influência no ponto de fusão dos AG. Deste modo ao ser submetido a altas temperaturas, processos de rancidez oxidativa e reações de hidrogenação catalítica, ocorrem alteração do ponto de fusão destes AG. Óleos constituídos por AG muito insaturados, como o ALA e o AL, presentes na semente de linhaça, apresentam menor estabilidade, quando comparados aos óleos formados por AG menos insaturados, estando aqueles mais suscetíveis à deterioração pelo processo de rancidez auto-oxidativa (MORETTO; FETT, 1998; COULTATE, 2004).

A degradação lipídica envolve complexas reações químicas entre o oxigênio atmosférico e os AG insaturados, podendo ter sua origem durante a produção, processamento

e armazenamento de óleos e sementes oleaginosas, resultando em alterações indesejáveis de cor, sabor, odor e consistência dos mesmos. Deste modo a mensuração objetiva da cor é de grande importância devido às relações existentes entre tal atributo e a aceitabilidade dos alimentos pelos consumidores (CALVO et al., 2001, ROTH et al., 1988). Além disso, a degradação acarreta na depreciação do produto, perda de valor comercial e nutritivo, pois os peróxidos produzidos atuam oxidando proteínas e vitaminas, alterando suas funcionalidades, além do comprometimento da integridade e segurança dos alimentos, que podem trazer prejuízos à saúde do consumidor, devido à formação de compostos poliméricos potencialmente tóxicos (BOBBIO; BOBBIO, 1992; MORETTO; FETT, 1998; ARAÚJO, 1999; SILVA et al., 1999; JORGE et al., 2005).

Destacam-se três vias de degradação de lipídios: a rancidez hidrolítica, a foto-oxidação e a auto oxidação ou rancidez oxidativa. A rancidez oxidativa é o principal mecanismo de oxidação de óleos e gorduras, ocorrendo em três etapas principais: iniciação ou indução, propagação e terminação (Figura 2). Na etapa de terminação ocorre a formação de peróxidos e hidroperóxidos, que por serem muito instáveis, podem sofrer ruptura, gerando uma grande variedade de compostos secundários, como cetonas, álcoois e, principalmente, aldeídos de baixo peso molecular, substâncias essas responsáveis, de fato, pelo sabor e odor desagradáveis do ranço, bem como pelo aumento da viscosidade e pela alteração da cor, devido à formação de polímeros de alto peso molecular. Esta etapa caracteriza-se pela redução da concentração de peróxidos e do consumo do oxigênio, bem como pelas alterações intensas de sabor, odor, cor e consistência dos lipídios (FETT, 1998; ARAÚJO, 1999; COULTATE, 2004; MORETTO et al., 2004).

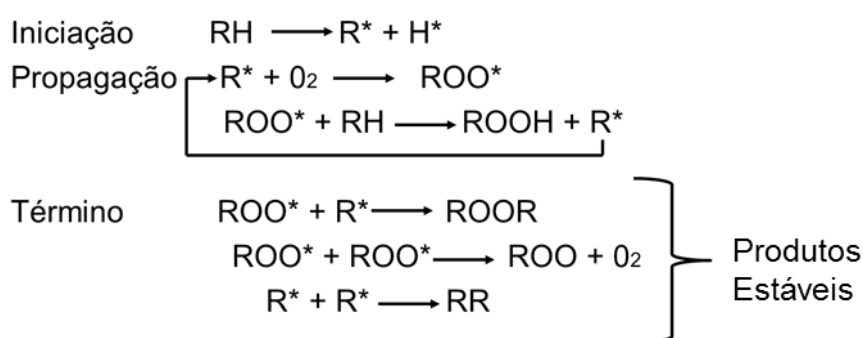


Figura 2 Etapas das reações de rancidez oxidativa.

Legenda: RH – Ácido graxo insaturado; R• - Radical Livre; ROO• - Radical peróxido; ROOH- Hidroperóxido.

Fonte: Ramalho e Jorge (2006).

A degradação de lipídios contidos em alimentos pode ocorrer por várias vias, em função do meio e de agentes catalisadores. Entre os fatores que afetam ou catalisam a oxidação dos lipídios, os mais importantes são: presença de insaturação nos ácidos graxos, luz, temperatura, presença de pró-oxidantes (como metais e pigmentos), enzimas,

metaloproteínas, microrganismos e condições de armazenamento (MORETTO; FETT, 1998; ARAÚJO, 1999; SILVA et al., 1999; ANTONIASSI, 2001; RAMALHO; JORGE, 2006;).

### 3.3 Acondicionamento e incidência fúngica

Os problemas encontrados no armazenamento de produtos agrícolas constituem objeto de estudo permanente, visando prolongar ao máximo a qualidade dos produtos armazenados, sejam eles semente ou grão para consumo (BRANGANTINI, 2005). Segundo Christensen e Kaufmann (1969), a viabilidade dos grãos oleaginosos depende das características genéticas da espécie e dos efeitos do meio ambiente durante a sua formação, desenvolvimento, maturação, colheita e processos pós-colheita.

De acordo com Morris (2007), a linhaça pode ser armazenada a longo prazo em temperatura ambiente, pois, mesmo após 308 dias à temperatura de 22 °C não foram detectadas mudanças nos níveis de peróxidos. Przybylski e Daun (2001) relatam que a linhaça armazenada em temperatura ambiente em armazéns por vinte meses mostrou notável estabilidade, indicando a presença de um forte sistema protetor que previne a oxidação. Entretanto ambos autores relatam que para manter o alimento fresco ou prolongar essa qualidade, em regiões de clima quente, deve-se armazenar tanto a linhaça inteira quanto moída em refrigerador ou freezer.

Para garantir que não ocorram alterações na qualidade inicial do produto, devem ser tomadas medidas de prevenção visando um armazenamento seguro. De acordo com BEZERRA (2015) o armazenamento seguro pode ser definido como o período de tempo durante o qual os grãos podem ser armazenados sem perda significativa na sua qualidade e quantidade. As embalagens utilizadas no armazenamento devem ajudar a diminuir a velocidade do processo de deterioração, mantendo o teor de água inicial das sementes armazenadas, com o intuito de diminuir a respiração (TONIN; PEREZ 2006).

Fleuratlessard (2002), Harrington (1959) e Toledo & Marcos Filho (1977) classificaram os tipos de embalagem quanto ao grau de permeabilidade, em três categorias: permeáveis, semipermeáveis e impermeáveis, razão pela qual a longevidade da semente armazenada pode variar, quando se empregam diferentes tipos de embalagem, em razão da troca de umidade. Delouche & Potts (1974) afirmaram que embalagens herméticas (latas metálicas, sacos de plástico à prova de umidade, sacos de papel ou de plástico laminado com folha de alumínio, dentre outros) requerem que a umidade das sementes seja reduzida ainda mais para obtenção de uma boa armazenagem (10% ou menos para os cereais e 9% ou menos para sementes oleaginosas). Em consequência, há um aumento no período de armazenamento seguro pela embalagem hermética. Owen (1956) observou que sementes

de gergelim (*Sesamum indicum* L.) mantiveram a viabilidade durante três anos quando armazenadas em recipientes herméticos.

Os grãos armazenados em recipientes permeáveis, como em alguns tipos de sacaria, têm o seu teor de água frequentemente alterado pelas oscilações da umidade relativa do ar atmosférico, como constatado por Razera et al. (1986) estudando o armazenamento de sementes de arroz e milho em diferentes embalagens (permeáveis e impermeáveis) e em diferentes regiões, observaram maior deterioração nos produtos armazenados em embalagens permeáveis.

Os grãos e derivados armazenados em condições inadequadas estão sujeitos a rancidez hidrolítica e o resultado deste processo é manifestado pelo aumento do percentual de ácidos graxos livres, pelo aumento da sensibilidade dos ácidos graxos à oxidação e pela alteração das propriedades funcionais (Narayan et al., 1988; Anwar et al., 2007). No decorrer do processamento industrial, principalmente durante o armazenamento, os ácidos graxos podem sofrer alterações do tipo oxidativa, modificando o flavor original, aparecimento de odores e gostos característicos de ranço e redução no valor nutritivo do alimento, como consequência na perda de ácidos graxos essenciais.

Os alimentos rancificados perdem grande quantidade de certos nutrientes essenciais, como as pró-vitaminas A e D, o caroteno, o complexo B, entre outras, e alguns ácidos graxos podem sofrer destruição oxidativa (SILVA; QUEIROZ, 2002). O efeito nocivo das reações de oxidação pode ser minimizado com refrigeração e armazenamento em condições adequadas, como embalagens a vácuo ou com o uso de atmosferas modificadas (AGUIAR et al., 2007).

No armazenamento da linhaça é necessário grande atenção a sua composição, pois produtos à base de cereais podem ser considerados um substrato ideal para o crescimento de fungos e produção de micotoxinas (DANTIGNY et al., 2005). Os principais fatores que favorecem o desenvolvimento de fungos durante o armazenamento de grãos são umidade, temperatura, período de armazenamento, nível inicial de contaminação, impurezas, insetos, concentração de CO<sub>2</sub> Inter granular, condições físicas e sanitárias dos grãos (LAZZARI, 1997).

Apesar da legislação brasileira, RDC nº12/2001 (BRASIL, 2001), não especificar limite para a contagem total de microrganismos para a linhaça, Fung et al., (1980) afirmaram que produtos com contagens entre 10<sup>5</sup> e 10<sup>6</sup> UFC g<sup>-1</sup> são considerados altamente contaminados e, conseqüentemente, impróprios para o consumo. A Instrução Normativa nº 60, de 10 de dezembro de 2009, estabelece padrões de identidade e qualidade para a produção de sementes de várias espécies, entre as quais a *Linum usitatissimum* L. Entretanto, não menciona os aspectos físico-químicos e microbiológicos desse alimento (BRASIL, 2009). Segundo Riedel (1992), qualquer microrganismo encontrado em alimentos em concentração superior a 10<sup>6</sup> por grama ou mililitro é potencialmente prejudicial à saúde humana.

O ataque severo de insetos-praga bem como a contaminação fúngica durante o armazenamento de grãos são responsáveis por consideráveis perdas no setor de armazenamento de produtos agrícolas em todo o mundo. A principal forma de controle tem sido feita, prioritariamente, com o uso do inseticida fumigante fosfeto de alumínio, cujo princípio ativo é a fosfina, o que representa um grande risco de desenvolvimento de resistência a esse produto, pois o uso contínuo de um determinado inseticida durante longos períodos, aliado às técnicas de aplicação inadequadas, favorecem o aumento de indivíduos resistentes (McKENZIE, 1996).

Dentre as principais alternativas ao uso da fosfina, destaca-se o uso do gás ozônio ( $O_3$ ) como agente controlador, um forte agente com propriedades sanitizantes (SOUSA et al., 2008). Sua utilização na agricultura vem se tornando atraente pelo fato de poder ser gerado no próprio local de uso e de seu produto de degradação, o oxigênio ( $O_2$ ), não deixar resíduo nos grãos (MENDEZ et al., 2003).

### 3.4 Geração e propriedades do gás ozônio

O ozônio, foi reconhecido em 1997 pela Food and Drug Administration (FDA) dos EUA como uma substância segura para uso como desinfetante ou desinfetante na indústria de alimentos (ALEXANDRE et al., 2011), que pode ser gerado no próprio local de uso através de uma descarga elétrica, descartando a necessidade de manipulação, armazenamento ou eliminação de embalagens (KELLS et al., 2001). É um potente agente antimicrobiano que pode ser utilizado contra bactérias, fungos, vírus, protozoários e esporos de bactérias e fungos (SREY et al., 2013). No Brasil, a portaria da ANVISA n. 25/76 publicada no Diário Oficial da União em 09/11/1977, regulamenta o uso do  $O_3$  (GIORDANO, 2009).

O ozônio ( $O_3$ ) resulta do rearranjo de átomos das moléculas de oxigênio quando essas são submetidas a descarga elétrica de alta voltagem. O produto é um gás azulado com odor pungente e fortes propriedades oxidantes (WEAVER; WICKRAMANAYAKE, 2001). Gerado pela reação de radicais livres de oxigênio com oxigênio diatômico para formar moléculas de oxigênio triatômicas. A geração do radical de oxigênio livre ocorre pela quebra de ligações O-O fortes, exigindo uma entrada significativa de energia. Os métodos de radiação UV e de descarga corona podem ser usados para iniciar a formação de oxigênio por radicais livres e, assim, gerar ozônio. Além dos métodos fotoquímico (radiação UV) e descarga elétrica, o ozônio pode ser produzido por métodos químicos, térmicos, quimiolumétricos e eletrolíticos (KIM et al., 1999).

Quando comparado a outros agentes oxidantes, o ozônio se destaca por ser um sanitizante com elevado potencial de oxidação que pode entrar em contato com alimento (2,07 mV). O ozônio é o segundo mais poderoso agente oxidante perdendo apenas para o flúor (3,06 mV) (RUSSEL et al., 1999; SILVA et al., 2011).

Como oxidante o ozônio tem inúmeras aplicações potenciais na indústria de alimentos, devido às suas vantagens em relação às técnicas tradicionais de conservação de alimentos. Sua aplicação na forma gasosa ou líquida no processamento de frutas e vegetais é frequentemente empregada para a inativação de microrganismos patogênicos e de deterioração. Além do amplo espectro de inativação microbiana, o ozônio também tem o potencial de matar pragas de armazenamento e degradar as micotoxinas. Uma de suas vantagens potenciais é que o excesso de ozônio se decompõe rapidamente para produzir oxigênio e, portanto, não deixa resíduos nos alimentos (CULLEN et al., 2009).

Grande parte das perdas pós-colheita pode ocorrer devido às infestações por insetos e o ozônio pode, na forma gasosa, atuar como agente fumigante passível de ser utilizado para desinfecção de alimentos em câmaras de armazenagem e durante o transporte. Esta aplicação pode ser realizada mesmo quando há altos índices de calor e umidade assegurando maior tempo de armazenamento e vida útil dos alimentos (CHIATTONE et al., 2008).

Trata-se de um agente oxidante poderoso e altamente reativo, com crescentes aplicações em diversos campos. Tiwari et al., (2010) listam em sua revisão as várias aplicações do ozônio no processamento de grãos, Savi et al., (2014) relatam o uso no controle de vários fungos e Trombete et al., (2016) na eliminação de diferentes contaminantes, como resíduos de pesticidas e micotoxinas.

Ozônio pode ser produzido por três diferentes técnicas: exposição do O<sub>2</sub> à luz ultravioleta, eletrólise do ácido perclórico e descarga eletroquímica. De acordo com Almeida et al., (2004) dentre esses processos o que utiliza descarga elétrica (também conhecido por efeito corona) é o mais utilizado pela maioria dos ozonizadores comerciais, principalmente pelo fato de se obter maior taxa de conversão do oxigênio em ozônio com menor custo.

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Amostragem e local da experimentação**

Foram utilizados grãos processados de linhaça Marrom e dourada provenientes de agroindústria da região oeste do Paraná. As análises foram realizadas na Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico de Cascavel (FUNDETEC) e no Laboratório de Controle de Qualidades de Produtos Agrícolas (LACON) pertencente a Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE).

### **4.2 Delineamento experimental**

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x2, com cinco repetições de 1,5 kg cada, sendo 3 tipos de acondicionamento e 2 períodos de tempo (antes e após o armazenamento).

Os tratamentos aplicados foram: Embalagem E1 (sacos de papel revestidos internamente com polietileno), Embalagem E2 (plástico polipropileno) e o controle (sem embalagem e sem aplicação de ozônio). As análises foram realizadas antes e após o armazenamento, nos tempos 0 e 90 dias.

### **4.3 Acondicionamento e ozonização**

Os grãos foram acondicionados em dois tipos de embalagens comerciais de 60 kg, sendo (E1) sacos de papel revestidos internamente com polietileno e (E2) plástico polipropileno. Um ozonizador marca O3R modelo SKID 20 com capacidade de 20 g h<sup>-1</sup> foi utilizado para produção do O<sub>3</sub>. O tempo de aplicação foi de 2 horas e a concentração de 10 ppm.

### **4.4 Análises dos grãos**

#### **4.4.1 Determinação do teor de água**

Para a determinação do teor de água foram utilizadas três amostras de aproximadamente 10g de grãos inteiros de linhaça marrom e dourada, para cada uma das condições a serem estudadas (Embalagens E1, E2 e Controle ), uniformemente distribuídas e pesadas, para posterior secagem em estufa com circulação forçada de ar a 105±1 °C durante 24 horas (Brasil, 2009, com adaptações). Os resultados foram expressos em porcentagem de base de massa seca (% , b.s.).

#### **4.4.2 Contagem de fungos totais**

Para avaliar os efeitos da ozonização na descontaminação fúngica, as amostras de sementes de linhaça foram analisadas de acordo com o método oficial para enumeração de

fungos totais em alimentos, MAPA (2003). Cada amostra contendo 25 g de sementes de linhaça foi transferida para um frasco Erlenmeyer e adicionados 225 mL de solução salina peptonada (0,1%). As amostras foram homogeneizadas por 60 s, correspondendo à diluição  $10^{-1}$ . A partir dessa diluição, foram preparadas as diluições  $10^{-2}$  e  $10^{-3}$ , utilizando tubos de ensaios contendo 9 mL de solução salina peptonada (0,1%). Alíquotas de 0,1 mL foram plaqueadas em superfície em ágar DRBC, sendo então incubadas por 5 dias a 25 °C em incubadora B.O.D. Após esse período, as colônias foram contadas e os resultados expressos como UFC  $g^{-1}$  de grãos.

#### 4.5 Análises e extração do óleo

##### 4.5.1 Extração do óleo de linhaça por prensagem a frio

As sementes foram colocadas inteiras em uma prensa mecânica adaptada e prensadas sem trituração, conforme Greiner et al., (2003), para evitar o aumento da superfície de contato do óleo de linhaça com o oxigênio atmosférico e a ativação de enzimas celulares, como a lipase e a peroxidase, responsáveis pela degradação mais rápida do óleo (MORETTO; FETT, 1998). A prensagem foi realizada a frio (temperatura ambiente), com pressão máxima de 14 toneladas.



Figura 3 Prensa mecânica adaptada para extração de óleo de linhaça.

##### 4.5.2 Determinação de lipídios

O perfil lipídico foi determinado pelo método de extração a frio, utilizando-se o extrator de Goldfish, que consiste em três etapas: extração da gordura da amostra com solvente,



eliminação do solvente por evaporação e a quantificação da gordura por pesagem (IAL, 2008).

#### **4.5.3 Determinação de ácidos graxos livres**

O percentual de ácidos graxos livres dos óleos de linhaça foi determinado adicionando-se 50,0 mL de álcool etílico 95% (previamente neutralizado com solução aquosa de NaOH 0,1 N, utilizando-se como indicador 0,5 mL de solução etanólica de fenolftaleína a 1%), a 2,0 g de amostra. A mistura foi aquecida até sinais de ebulição, sendo posteriormente titulada com solução aquosa de NaOH 0,1 N, até coloração rósea persistente por 15 segundos (AOCS, 1985).

#### **4.5.4 Determinação do índice de peróxidos**

Para determinar o índice de peróxido, 5,0 g de cada amostra de óleo de linhaça foi dissolvido em 30 mL da solução de ácido acético-clorofórmio (3:2), com leve agitação, seguida da adição de 0,5 mL de solução saturada de iodeto de potássio (30,0 g de iodeto de potássio em 21,0 mL de água destilada, preparada no mesmo dia da análise e conservada em frasco âmbar). A mistura foi deixada em repouso ao abrigo da luz por exatamente um minuto, sendo adicionado em seguida 30,0 mL de água destilada. A titulação da mistura foi realizada com tiosulfato de sódio 0,1 N, em constante agitação, até o quase desaparecimento da cor amarela, quando adicionou-se 0,5 mL de solução de amido 1%, continuando a titulação até o completo desaparecimento da cor azul. Foi realizada também uma prova em branco nas mesmas condições descritas (IAL, 2008).

#### **4.5.5 Determinação dos parâmetros de cor**

A cor resulta da interação física de uma fonte de energia sobre um objeto e depende da visão do observador. Apresenta extrema importância na aceitabilidade de um produto por parte do consumidor e pode também relacionar-se com outros atributos de qualidade, ajudando de forma indireta no controle deste (LIMA; LARANJEIRA, 2010).

A avaliação da cor na indústria alimentar é de grande interesse, podendo ser feita por avaliação sensorial ou instrumental. No segundo caso podem ser utilizados instrumentos específicos, como o colorímetro de reflectância ou espectrofotometria de absorção molecular no visível. A aplicação da colorimetria oferece assim uma forma objetiva de avaliação de cor, uma vez que se baseia na consideração de todo o espectro visível e torna possível obter o perfil real de cada componente cromática ou do produto alimentar (OSORIO et al., 2007).

Um dos sistemas mais utilizados para medição de cores é o sistema CIELAB (Comissão Internacional de Iluminantes), 1976, que é obtido através de coordenadas cromáticas  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  e  $H^*$ . Este sistema é baseado em três elementos: a luminosidade ou claridade, a tonalidade ou matiz e a saturação ou cromaticidade (STANZIOLA, 1979). A

luminosidade define a escala cinza entre o branco e o preto. É expressa pela variável  $L^*$  e assume valor 0 para o preto absoluto e 100 para o branco total. O ângulo de coloração ( $H^*$ ) é o aspecto da cor mais familiar que pode ser descrito, pois identifica cores como vermelho, verde, azul ou amarelo. Inicia no eixo  $+a^*$  e é expresso em graus:  $0^\circ$  para vermelho ( $+a^*$ ),  $90^\circ$  para amarelo ( $+b^*$ ),  $180^\circ$  para verde ( $-a^*$ ) e  $270^\circ$  para azul ( $-b^*$ ) conforme Figura 4. O índice de croma ( $C^*$ ) indica a intensidade ou pureza do índice  $H^*$ , independente de quão clara ou escura é a cor. Quanto maior é o seu valor, a cor é mais intensa ou altamente cromática parecendo luminosa ou concentrada, enquanto que valores baixos (acromático) indicam cor acinzentada, fraca ou diluída (HILL et al., 1997; GONNET, 1998).

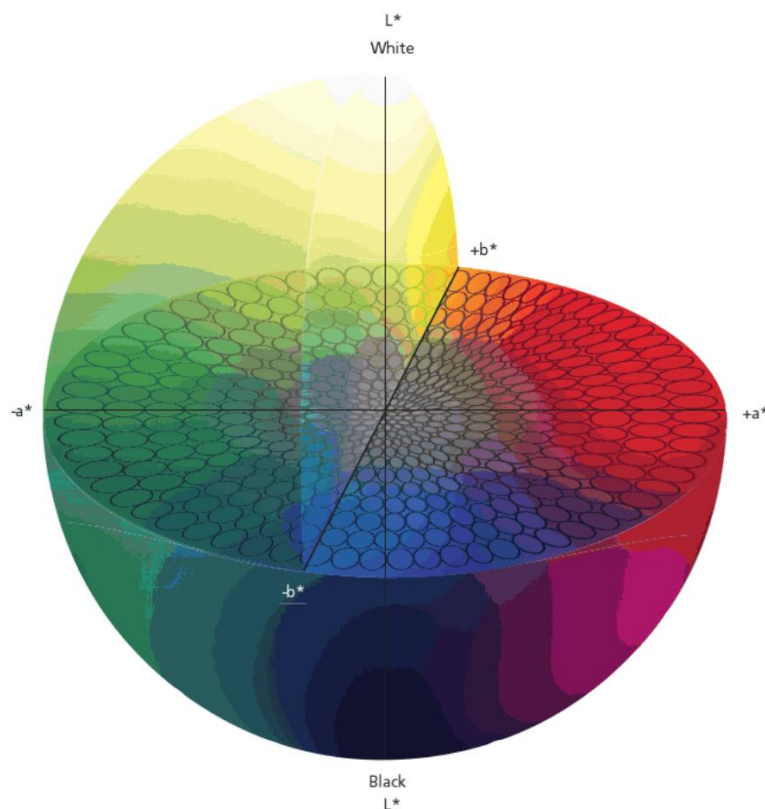


Figura 4 Representação gráfica no espaço de cor do CIE Lab (adptado de Kusumaningrum et al. (2015))

Para a determinação da cor do produto, foi feita a leitura direta no óleo de linhaça com um colorímetro digital. Antes da realização das leituras, foi realizada a calibração do aparelho em placa cerâmica, com padrões pré-estabelecidos pelo fabricante ( $Y=85,8$ ;  $x=0,3195$  e  $y=0,3369$ ), utilizando o iluminante D65, pois este representa a média da luz do dia (GRANATO; MASSON, 2010). Posteriormente foram feitas as leituras das amostras com três repetições, obtendo-se valores médios de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ,  $C^*$  e  $H^*$ .

#### 4.6 Análise estatística

Inicialmente foi feita análise de variância preliminar, de acordo com o delineamento utilizado para distribuir os tratamentos e posteriormente foi realizado o desdobramento dos

graus de liberdade dos tratamentos, de acordo com o esquema fatorial utilizado (3x2), com a finalidade de estudar os efeitos principais dos fatores e os efeitos das interações entre os fatores. Os efeitos das condições de tratamento nas propriedades do óleo de linhaça e contagem de fungos total foram avaliados usando ANOVA. Comparações post hoc foram feitas entre grupos usando Teste de Tukey. Valores significativos foram reportados ao nível  $\alpha = 0,05$ .

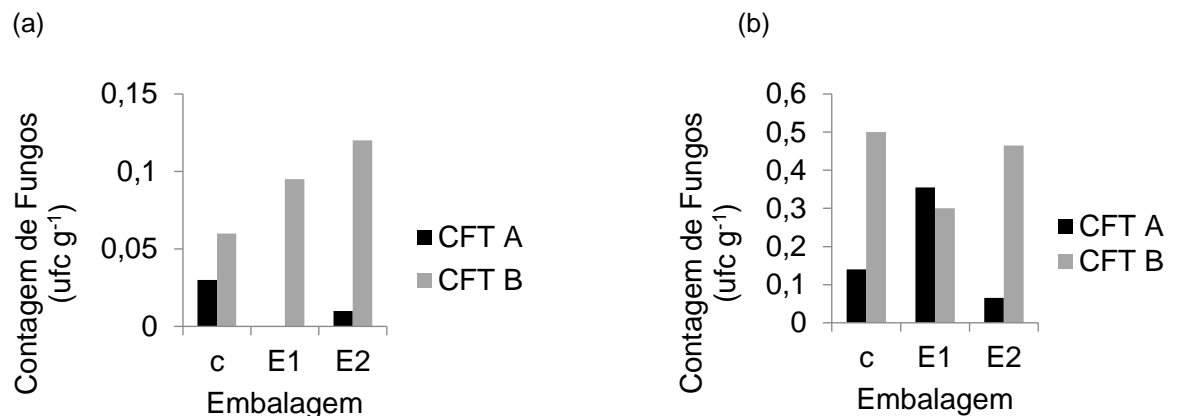
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizadas análises para avaliar a qualidade dos grãos e óleo de linhaça marrom e dourada, acondicionados e ozonizados em diferentes tipos de embalagens, antes e após o armazenamento nos tempos 0 e 90 dias. Contagem de fungos total, teores de lipídios e água foram utilizados para avaliar a qualidade dos grãos, enquanto ácidos graxos, índice de peróxido e parâmetros de cor foram utilizados para determinar a qualidade dos óleos.

### 5.1 Análise dos grãos de linhaça

#### 5.1.1 Contaminação fúngica

A contaminação fúngica em grãos pode ocorrer nas fases de pré e pós-colheita, o nível de contaminação depende de diversos fatores como atividade de água, época de colheita, degradação física, condições dos equipamentos de colheita e pós-colheita. Porém, de acordo com os resultados obtidos em amostras de linhaça marrom e dourada observaram-se baixos índices de contagem de fungos, sendo observados valores correspondentes à zero contaminação em amostras de linhaça marrom (Figura 4). Dessa forma não foi possível estabelecer análise estatística satisfatório apresentando-se, assim, as médias encontradas para os tratamentos observados (Figura 4).



N Figura 5 Valores de contagem de fungos em grãos de (a) linhaça Marrom e (b) Dourada , antes (A) e após (B) o armazenamento.

#### 5.1 Índice de peróxido

Não foram encontrados valores de peróxidos nas amostras de óleo de linhaça dourada e marrom, esse fato pode ser explicado devido à presença de conteúdo de compostos fenólicos antioxidantes e flavonoides (KASOTE; BADHE; HEGDE, 2013), uma vez que, a presença deles aumenta a estabilidade do óleo (NYKTER et al., 2006), porém não quantificados nesse estudo. Dessa forma, pode-se dizer que a aplicação de ozônio em

diferentes tipos de acondicionamento e o tempo de armazenagem dos grãos de linhaça não influenciaram o índice de peróxido.

Em outros estudos, os resultados demonstraram que amendoins com teor de água de 8%, tratados com ozônio em concentrações de até 7,5 mg L<sup>-1</sup> e tempo de aplicação de até 120 min apresentaram valores estáveis de peróxido (CHEN et al., 2014), que estavam em conformidade com os efeitos desintoxicantes da ozonização em amendoim relatado anteriormente por de Alencar et al., (2011).

## 5.2 Lipídios, ácidos graxos e teor de água

Muitos fatores podem influenciar na fração lipídica, como presença de microrganismos e sementes defeituosas, contaminantes que podem alterar a composição química e a estrutura da parede celular (MAZZAFERA, 1999; LEYVA SALAS et al., 2017), além do tipo de variedade.

O fator embalagem influenciou significativamente ( $p < 0,05$ ) o conteúdo lipídico das sementes de linhaça marrom e dourada. E o fator armazenagem afetou significativamente os ácidos graxos do óleo de linhaça dourada. Houve também interação significativa (ExA) para lipídios das sementes de linhaça marrom (Tabela 2). Ainda, o teor de água não sofreu influencia pela embalagem utilizada e tempo de armazenamento ( $p < 0,05$ ).

Tabela 2 Valores de P da Anova para lipídios e teor de água dos grãos e ácidos graxos do óleo de linhaça marrom e dourada ozonizados, sob diferentes tipos de acondicionamento e tempo de armazenagem e interação dos fatores.

Fator	Linhaça Marrom			Linhaça Dourada		
	Lipídios	Ácidos Graxos	Teor de água	Lipídios	Ácidos Graxos	Teor de água
Embalagem (E)	0.0086	0.6567	0.2612	0.0079	0.0558	0.0985
Armazenagem (A)	0.0621	0.0891	0.4490	0.2263	0.0001	0.5399
ExA	0.0049	0.1306	0.4392	0.3709	0.1159	0.1122

Valores de  $p < 0,05$  foram considerados significativos.

Tabela 3 Valores médios de lipídios, ácidos graxos e teor de água obtidos para cada tipo de embalagem antes e depois da armazenagem de linhaça marrom e dourada, analisados em duplicada.

<b>A. Linhaça Marrom</b>				
Fator	Lipídios (g 100 g <sup>-1</sup> )		Ácidos Graxos (%)	Teor de água (%)
	0 dias	90 dias		
C	31,99±1,84 <sup>aA</sup>	27,95±1,49 <sup>bB</sup>	19,83±2,41	8,04±0,5
E1	29,75±0,81 <sup>abA</sup>	31,72±2,49 <sup>aA</sup>	20,87±2,04	8,30±0,67
E2	28,91±0,49 <sup>bA</sup>	27,09±2,08 <sup>bA</sup>	20,04±3,26	8,01±0,19
<b>B. Linhaça Dourada</b>				
Fator	Lipídios (em g 100 g <sup>-1</sup> )		Ácidos Graxos (%)	Teor de água (%)
	0 dias	90 dias		
C	30,14±0,79 <sup>a</sup>		18,27±3,84	7,51±1,54
E1	26,76±2,63 <sup>b</sup>		19,83±5,16	7,57±2,67
E2	28,49±1,88 <sup>ab</sup>		17,73±3,46	7,61±2,57

a, b (minúsculas) Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de embalagem (P<0,05).

A,B (maiúsculas) Letras diferentes indicam diferenças significativa entre o tempo de armazenamento, (P<0,05).

Ambas as variedades de linhaça estudadas apresentaram teores de lipídios inferiores aos encontrados na literatura, de acordo com Cloutier et al. (2011) o teor de lipídios frequentemente muda devido à adaptação das culturas às estações de crescimento regionais, bem como aos efeitos ambientais, podendo ocorrer também variação na composição de ácidos graxos. Para linhaça marrom os valores médios de teor de lipídios apresentaram diferença significativa durante o período de armazenamento, não ocorrendo o mesmo em linhaça dourada. Antes da armazenagem os valores de lipídios para as amostras controle da linhaça marrom foram estatisticamente iguais aos valores lipídicos da linhaça acondicionada na embalagem E1, estas apresentando maiores valores. Após a armazenagem os valores de lipídios para controle se aproximaram dos valores obtidos em linhaça marrom acondicionada na embalagem E2, porém foram estatisticamente diferentes para embalagem E1, sendo esta com maior valor lipídico encontrado.

A embalagem E1 apresentou melhor conservação pela manutenção dos seus valores de lipídios durante o armazenamento para linhaça marrom. Já para linhaça dourada os valores obtidos de teor de lipídios foram estatisticamente iguais entre controle e embalagem E2. Esses resultados demonstram que, de acordo com a variedade de linhaça e tipo de acondicionamento utilizado os teores de lipídios podem sofrer alterações, sendo influenciados ainda pelo tempo de armazenamento do produto. Conforme a Tabela (3), verifica-se ainda que o controle foi o único que apresentou variação nos valores de lipídios durante armazenagem, diminuindo após 90 dias de armazenamento, indicando que por não ter recebido nenhum tipo de tratamento (embalagem e ozonização) os valores de lipídios não se mantiveram após o armazenamento.

De acordo com estudos anteriores, o tipo de embalagem e tempo de armazenamento exerceram influência na qualidade de sementes de crambe (CARDOSO; BINOTTI; CARDOSO, 2012) e a utilização de embalagem impermeável, semelhante à embalagem E1 utilizada neste estudo, proporcionou a manutenção da qualidade de sementes de crambe em até 180 dias de armazenamento (MASETTO et al., 2013).

A composição de ácidos graxos do óleo de linhaça não foi influenciada estatisticamente ( $p > 0,05$ ) pela ozonização em diferentes tipos de embalagem, resultados semelhantes ocorreram para teor de água dos grãos (Tabela 3). Apenas, o armazenamento para linhaça dourada afetou o índice de ácidos graxos, conforme Tabela 3. O valor de ácidos graxos do óleo bruto aumentou de 0,15 para 0,22 após a armazenagem de linhaça dourada. De acordo com o estudo de Toci et al. (2013) a oxidação de ácidos graxos livres foi influenciada durante o armazenamento de café torrado. É possível que compostos oxidantes, como mencionado anteriormente (PÉREZ-MARTÍNEZ et al., 2008) tenham causado esse aparente incremento no conteúdo de ácidos graxos, já que as amostras de linhaça dourada apresentavam maior nível de contaminação microbiológica.

O teor de água dos grãos de linhaça não foi influenciado pela ozonização em diferentes tipos de embalagens e nem após a armazenagem (Tabela 3,  $p > 0,05$ ), com valor médio de 7,74% reduzindo a 7,54% (b.s.) após a armazenagem de linhaça dourada e de 8,39 para 7,98% (b.s.) após armazenagem da linhaça marrom, estes valores são considerados adequados para manter a qualidade do produto durante as fases pós-colheita.

A influência do teor de água é relato em outros estudos, segundo Frankel (2005) quando a umidade no sistema de armazenamento é baixa, a entropia diminui no sistema, o que leva a uma diminuição na energia cinética das moléculas e, portanto, nas taxas de todos os tipos de reações. Por outro lado, as reações de oxidação são facilitadas pela presença de oxigênio, e os ácidos graxos insaturados são os componentes mais suscetíveis a essa reação, devido à presença de ligações duplas (elétrons  $\pi$ ) (AKOH; DAVID B.MIN, 2008). Assim, pode se dizer que devido a baixa atividade da água e o uso de embalagem no armazenamento das linhaças a oxidação lipídica foi baixa.

Outros autores mostraram que a ozonização em grãos não prejudicou a qualidade de produtos agrícolas, como no potencial fisiológico de milho (FREITAS et al., 2017) e trigo (GRANELLA et al., 2018), e nos indicadores oxidativos (polifenóis, resveratrol, valor ácido e valor de peróxido) em amendoim (CHEN et al., 2014).

### 5.3 Parâmetros de cor

A cor é uma propriedade importante de muitos alimentos por duas razões principais: sua relação com outras propriedades químicas e físicas dos alimentos (que também podem estar relacionadas à maturação, técnicas de processamento, condições de armazenamento, entre outros.) e sua forte influência nas preferências dos consumidores, que regulam as decisões de compra subsequentes. A especificação precisa das cores é muitas vezes uma parte essencial de um controle completo de qualidade dos alimentos (SALMERÓN et al., 2012).

Os produtos de prensagem de linhaça são óleos crus que variam de amarelo a laranja e farelo desengordurado ou parcialmente desengordurado. Há também um aumento significativo na estabilidade oxidativa no óleo de linhaça associado ao aumento de calor e cisalhamento durante a prensagem, ainda a cor do revestimento da semente parece não ter impacto conhecido na química do óleo (SHIM et al., 2015). Porém, no momento da extração do óleo verificou-se a presença de uma pequena quantidade de resíduos deixada pelo grão, isso pode trazer mudanças físicas e oxidativas no óleo bruto extraído, por fim, trazendo alterações de cor.

Tabela 4 Valores de P da Anova para parâmetros de cor do óleo de linhaça marrom (A) e dourada (B) ozonizadas, sob diferentes tipos de acondicionamento e tempo de armazenagem e interação dos fatores.

A. Linhaça Marrom					
Fator	L*	a*	b*	C*	H*
Embalagem (E)	0,1521	0,4497	0,0666	0,1227	0,4592
Armazenagem (A)	0,0016	0,0001	0,5253	0,2602	0,0001
ExA	0,0312	0,8901	0,0024	0,0029	0,7987
B. Linhaça Dourada					
Fator	L*	a*	b*	C*	H*
Embalagem (E)	0,0597	0,6896	0,8565	0,8415	0,9631
Armazenagem (A)	0,9423	0,0220	0,9854	0,9121	0,0838
ExA	0,9112	0,3917	0,9419	0,9295	0,7856

Valores de  $p < 0,05$  foram considerados significativos.

De acordo com a tabela 4 o fator armazenagem influenciou significativamente os parâmetros de cor L, a e h do óleo de linhaça marrom, a embalagem não teve influência sobre a cor e a interação entre os dois fatores principais (ExA) influenciou os parâmetros L\*, b\* e C\*. Já para o óleo de linhaça dourada somente o parâmetro a\* sofreu alterações significativas, sendo essas influenciadas pelo armazenamento.



Tabela 5 Valores médios dos parâmetros de cor de óleo bruto de linhaça marrom e dourada, obtidos após ozonização em diferentes tipos de embalagens, antes e depois da armazenagem, analisados em duplicata.

<b>A. Linhaça Marrom</b>								
	L*		a*	b*		C*	H*	
	0 dias	90 dias		0 dias	90 dias			
C	82,90 <sup>a</sup>	74,37	5,00	72,92 <sup>a</sup>	63,59	73,00 <sup>a</sup>	64,06	85,61
E1	81,86 <sup>a</sup>	74,25	4,27	71,59 <sup>a</sup>	66,77	71,48 <sup>a</sup>	67,17	86,32
E2	75,05 <sup>b</sup>	75,05	3,58	58,28 <sup>b</sup>	68,52	61,48 <sup>b</sup>	68,76	86,90

<b>B. Linhaça Dourada</b>					
	L*	a*	b*	C*	H*
C	73,78	7,30	62,06	62,57	82,99
E1	74,61	8,16	64,29	64,86	82,63
E2	74,52	7,87	63,45	63,96	82,81

a, b (minúsculas) Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de embalagem ( $P < 0,05$ ).

De acordo com a Tabela 5 os parâmetros de cor influenciados pelo tipo de embalagem do óleo de linhaça marrom foram L\*, b\* e C\*, sendo que o controle (sem embalagem e sem ozonização) foi estatisticamente igual aos valores determinados para embalagem E1, diferenciando estatisticamente da embalagem E2. Já os resultados obtidos para o óleo de linhaça dourada não tiveram diferença significativa entre os tratamentos estudados ( $p > 0,05$ ).

A luminosidade, a variação da cor amarela (b+) e croma, importantes para os aspectos qualitativos de óleo, indicaram que somente a embalagem E1 foi estatisticamente igual ao controle, porém essa afirmação é válida apenas antes da armazenagem uma vez que após 90 dias não houve diferenças significativas entre as embalagens para o óleo de linhaça marrom. Isso pode ser explicado pelo fato da ozonização ter sido realizada somente no tempo inicial, tendo efeito imediato sobre os grãos não sendo mantido a longo prazo.

Os valores médios de L\* para ambos os grupos de amostras foram próximos a 100 unidades CIELAB, indicando que as amostras eram muito claras. As amostras de óleo das duas variedades obtiveram baixos valores do parâmetro a\*, próximos a zero e positivos, isso pode ser atribuído, em parte, à baixa concentração de compostos de clorofila, que corresponde a cores esverdeadas. Estes valores se assemelharam com os resultados obtidos na avaliação de cor de óleo de oliva virgem (MOYANO et al., 2008; MAPELLI-BRAHM et al., 2018).

O valor de b\*, nas amostras de óleo estudadas, estava próximo de 100 unidades, indicando uma maior contribuição de cor amarela nas amostras. E essa coloração deve-se principalmente ao conteúdo carotenoides (KING et al., 2008; GIUFFRIDA et al., 2011). Entretanto, as médias dos valores de cor b\* para o óleo de linhaça marrom acondicionados na embalagem E2 no tempo 0 (logo após a ozonização), foram inferiores e estatisticamente

diferentes das demais, indicando que houve maior degradação dos carotenoides pelo ozônio, uma vez que essa embalagem é mais porosa e a penetração de ozônio foi maior. Essa afirmação foi constatada anteriormente em óleo de avelã e de soja tratados com ozônio aplicando  $40 \text{ mg L}^{-1}$  em até 360 min perderam significativamente cor amarela, devido principalmente a perda de pigmentos carotenoides presentes no óleo (UZUN et al., 2018).

Outro fator importante, que o valor  $C^*$  juntamente com o  $b^*$  estão correlacionados com a concentração de carotenoides, estes apresentando valores positivos (MOYANO et al., 2008). Assim, os valores de  $C^*$  nas amostras de óleo do presente estudo também se aproximaram dos valores de  $b^*$ , sendo que houve diferença significativa entre a embalagem E2 e os demais tratamentos. Isso indica que altas concentrações de carotenoides poderão ser encontradas nas amostras controle e embalagem E1, não sendo influenciadas ou pouco influenciadas pela ozonização.

Dessa maneira, estudos mais aprofundados da influência do ozônio na degradação dos principais carotenoides presente em óleo, como luteína,  $\beta$ -caroteno, zeaxantina, violaxantina, devem ser feitos, como também a cinética de degradação desses compostos.

Contudo, de acordo com os resultados obtidos para o óleo de linhaça dourada, não houve diferenças significativas de cor entre as embalagens estudadas e o controle. Fatores como grau de pureza do óleo e oxidação pelo nível de contaminação podem ter interferido nos resultados de parâmetros de cor para essa variedade. Ainda, outras diferenças entre as variedades de linhaça, encontradas na literatura, poderiam estar influenciando os resultados: o óleo de linhaça dourada apresenta menor quantidade de ácidos graxos saturados e poli-insaturados (NOVELLO; POLLONIO, 2012), e, diferenças na composição química entre variedades de linhaça foram encontradas por Khan et al. (2010).

## 6 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos neste estudo pode-se afirmar que:

A ozonização em diferentes tipos de embalagem não influenciou nos resultados dos parâmetros teor de água, Índice de peróxidos antes e após o armazenamento em linhaça marrom e dourada. Os valores médios de contagem de fungos encontrados para ambas as variedades estão de acordo com os níveis considerados seguros para o consumo.

O teor de lipídios foi influenciado pelo fator embalagem para ambas as variedades de linhaça, sendo que, para linhaça marrom a embalagem E1 apresentou melhor conservação mantendo os valores após o armazenamento. Já para linhaça dourada não foram constatadas diferenças significativas nos valores de lipídios após o armazenamento em nenhuma das embalagens.

O índice de ácidos graxos foi influenciado apenas pelo armazenamento, apresentando elevação nos valores após 90 dias de armazenagem, somente para linhaça dourada, esse fato pode ser explicado devido ao fato da variedade de linhaça dourada ter apresentado maior contaminação fungica oque justificaria uma elevação de compostos oxidantes.

Os parâmetros de cor foram influenciados pelo tipo de embalagem antes do armazenamento, ou seja logo após a ozonização, sendo que a embalagem E1 apresentou valores semelhantes ao controle indicando que os grãos não sofreram alterações devido a exposição ao gás ozônio. Entretanto não houve diferença significativa dos fatores para linhaça dourada.

A embalagem E1 apresentou melhor conservação de lipídios e manutenção dos parâmetros de cor, sendo esta embalagem a mais recomendada para o armazenamento de linhaça marrom.

## **7 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Para linhaça dourada são necessários mais estudos para determinar qual a melhor embalagem para ozonização e armazenamento. Como por exemplo estudos mais aprofundados da influência do ozônio na degradação dos principais carotenoides presentes em óleos, como luteína,  $\beta$ -caroteno, zeaxantina, violaxantina, bem como a cinética de degradação desses compostos.

## 8 REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A.C; Efeito do tempo e temperatura de estocagem sobre a estabilidade lipídica e a composição centesimal de linhaça (*Linum usitatissimum*) moída. In XII Congresso Latino americano de Óleos e Gorduras. Florianópolis, Brasil, 2007.
- AKOH, C. C.; DAVID B.MIN. **Food lipids: Chemistry, Nutrition, and Biotechnology Edited.** [s.l: s.n.]
- ALEXANDRE, E. M. C; BRANDÃO, T. R. S; SILVA, C. L. M. Modeling of microbial load reduction in foods due to the impact of ozone. **Procedia Food Sci.**, 1 ( 2011 ), pp. 836 - 841.
- ANTONIASSI, R. Métodos de avaliação da estabilidade oxidativa de óleos e gorduras. Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos (CEPPA), Curitiba, v.19, n. 2, p. 353-380, jul./dez. 2001.
- ARAÚJO, J. M. A. Química de Alimentos: teoria e prática. 2. ed. Viçosa: UFV, 1999. cap. 1, p. 1-65.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS, AOAC. Official Methods of Analysis of the AOAC International. 16th ed., Supplement 1998. Washington: AOAC, 1995. 1018p.
- BALK, E.M; LICHTENSTEIN, A.H; CHUNG. M; KUPELNICK, B; CHEWA, J.L. Effects of omega-3 fatty acids on serum markers of cardiovascular disease risk: A systematic review. **Atherosclerosis**, v.189, n.1, p.19-30, 2006.
- BEZERRA, P. H. S. et al. Efeito do armazenamento na qualidade dos grãos e do óleo de crambe para produção de biodiesel. **Energia na Agricultura**, v.30, p.310-318, 2015.
- BRANGANTINI, C. Alguns Aspectos do Armazenamento de Sementes e Grãos de Feijão. **Documento Técnico.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. 2005
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Regras para Análise de Sementes. MAPA/ACS, Brasília, p. 399, 2009.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC n.12, de 02 de janeiro de 2001. Regulamento Técnico Sobre os Padrões Microbiológicos para Alimentos. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 2 jan. 2001. p. 1-54
- CALVO, C; SALVADOR, A; FISZMAN, S. M. Influencia da intensidade de cor na percepção de cor e doçura em vários iorgutes com sabor de frutas. *European Food Research and Technology* , 213 ( 2001 ) , págs. 99 – 103.
- CARDOSO, R. B.; BINOTTI, F. F. da S.; CARDOSO, E. D. Potencial fisiológico de sementes de crambe em função de embalagens e armazenamento. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, v. 42, n. 3, p. 272–278, 2012.
- CARTER, J.F. Potential of flaxseed and flaxseed oil in Baked goods and other products in human-Nutrition. **Cereal Foods World**, 38 (1993), pp. 753-759
- CHEN, R.; MA, F.; LI, P. W.; ZHANG, W.; DING, X. X.; ZHANG, Q.; LI, M.; WANG, Y. R.; XU, B. C. Effect of ozone on aflatoxins detoxification and nutritional quality of peanuts. **Food Chemistry**, v. 146, p. 284–288, 2014.
- CHOO, W.S.; BIRCH, J.; DUFOUR, J.P. Physicochemical and quality characteristics of cold-pressed flaxseed oils. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.20, n.3/4, p.202-211, 2007.
- CHRISTENSEN, C. M.; KAUFMANN, H. H. Grain storage: the role of fungi in quality loss. **Minneapolis: University of Minnesota Press.** 154 p. 1969
- CLOUTIER, S.; RAGUPATHY, R.; NIU, Z.; DUGUID, S. SSR-based linkage map of flax (*Linum usitatissimum* L.) and mapping of QTLs underlying fatty acid composition traits. **Molecular Breeding**, v. 28, n. 4, p. 437–451, 2011.

- CODEIRO, R; FERNANDES, P; BARBOSA, L. Semente de linhaça e o efeito de seus compostos sobre as células mamárias. **Revista Brasileira Farmacognosia**. João Pessoa v.19 n.3, 2009.
- COLLINS, P.J; DAGLISH, G.J; PAVIC, H; KOPITTKE, R.A. Response of mixed-age cultures of phosphine-resistant and susceptible strains of lesser grain borer, *Rhyzopertha dominica*, to phosphine at a range of concentrations and exposure periods. **Journal of Stored Products Research**, 41 (4) (2005), pp. 373-385
- COSKUNER, Y; KARABABA, E. Some physical properties of flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). **Journal of Food Engineering**, Turkey, v. 78, n. 3, p. 1067-1073, 2007.
- COSMO, B.M.N; CABRAL, A.C; PINTO, L.P; FRIGO, J.P; AZEVEDO, K. D; BONASSA, G. Linhaça *Linum usitatissimum*, Suas Características. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 3, p. 189-196, 2014.
- COULTATE, T. P. Alimentos: a química de seus componentes. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. cap. 4, p. 63-100.
- CULLEN, P.J; TIWARI, B.K; O'DONNELL, C.P; MUTHUKUMARAPPAN, K. Abordagens de modelagem para processamento de ozônio de alimentos líquidos. *Tendências em Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 20 ( 3–4 ) ( 2009 ) , pp. 125 - 136.
- CUPERSMID, L; FRAGA, A.P.R; ABREU, E.S.DE; PEREIRA, I.R.O. Linhaça: Composição Química e Efeitos Biológicos. **E-Scientia**, v. 5, n.2, p. 33-40, 2012.
- DANTIGNY,P. ; GUILMART, A. ; BENSOUSSAN, M. Basis of predictive mycology. **International Journal of Food Microbiology**. v.100, p.187-196, 2005
- DAUN, J; BARTHET, A. V; CHORNICK, A. T; DUGUID, A. S. Structure, composition, and variety development of flaxseed. **Flaxseed in Human Nutrition** (Second ed.), AOCS Publishing (2003).
- DE ALENCAR, E. R.; FARONI, L. R. D.; SOARES, N. F. F.; CARVALHO, M. C. S.; PEREIRA, K. F. Effect of the ozonization process on the quality of peanuts and crude oil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 2, p. 154–160, 2011.
- DEFILIPPIS, A. P.; SPERLING, L. S. Understanding omega-3's. **American Heart Journal**, Atlanta, v. 151, n. 3, p. 564-570, 2006.
- DELOUCHE, J.C.; POTTS, H.C. Programa de sementes: Planejamento e implantação. 2. ed. Brasília: Agiplan, 1974. 118p.
- EPAMINONDAS, P.S. Caracterização físico-química e termooxidativa das sementes de linhaça (*Linum usitatissimum* L.) e de seus óleos. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 2009.
- FIELDS, P.G; WHITE, N.D.G. Alternatives to methyl bromide treatments for stored-product and quarantine insects. **Annual Review of Entomology**, 47 (2002), pp. 331-359.
- FLEURAT-LESSARD, F. Qualitative reasoning and integrated management of the quality of stored grain: a promising new approach. **Journal of Stored Products Research**, v.38, p.191-218, 2002.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. Fats oils in human nutrition. 1995.
- FRANKEL, E. N. Hydroperoxide Decomposition. **Lipid Oxidation**, p. 67–99, 2005.
- FREITAS, R. da S. de; FARONI, L. R. D. A.; QUEIROZ, M. E. L. R. de; HELENO, F. F.; PRATES, L. H. F. Degradation kinetics of pirimiphos-methyl residues in maize grains exposed to ozone gas. **Journal of Stored Products Research**, v. 74, p. 1–5, 2017.

FUNG, D.Y.C; KASTNER, C.L; HUNT, M.C; DIKEMAN, M.E; KROPK, D. Mesophilic and psychrotrophic bacteria population on hot-boned and conventionally processed beef. **Journal of Food Protection**, v.43, n.7, p.547-550, 1980.

GIORDANO, B. N. E. Efeito do ozônio sobre a micoflora e aflatoxinas durante a armazenagem de castanha-do-brasil com casca (*Bertholletia excelsa* H. B. K.). Florianópolis: UFSC, 2009. 193p. Dissertação Mestrado.

GIUFFRIDA, D.; SALVO, F.; SALVO, A.; COSSIGNANI, L.; DUGO, G. Pigments profile in monovarietal virgin olive oils from various Italian olive varieties. **Food Chemistry**, v. 124, n. 3, p. 1119–1123, 2011.

GONNET, J. F. Colour effects of co-pigmentation of anthocyanins revisited--1. A colorimetric definition using the CIELAB scale. **Food Chemistry**, v.63, n.3, p.409-415. 1998.

GOYAL, A.; SHARMA, V.; UPADHYAY, N.; GILL, S.; SIHAG, M. Flax and flaxseed oil: an ancient medicine & modern functional food. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n.9, p. 1633-1653, set. 2014.

GRANELLA, S. J.; CHRIST, D.; WERNCKE, I.; BECHLIN, T. R.; MACHADO COELHO, S. R. Effect of drying and ozonation process on naturally contaminated wheat seeds. **Journal of Cereal Science**, v. 80, p. 205–211, 2018.

HARRINGTON, J.F. Drying, storing and packaging seeds to maintain germination and vigour. In: Short course for seedsmen. Mississippi: Seed Technology Laboratory, Mississippi State, 1959. 2v.

HILL, B.; ROGER, Th. e VORHAGEN, F. W. Comparative analysis of the quantization of color spaces on the basis of the CIELAB color-difference formula. **ACM Transactions on Graphics**, v.16, n.2, p.109-154, 1997.

INSTITUTE OF MEDICINA. Dietary Reference Intakes (DRIs) for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein and mono acids. Part. 1. Washington (DC): National Academy Press, 2002.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4. ed. Versão eletrônica. São Paulo: IAL, v.1, 2008. 1020 p.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz, v.1, São Paulo: o Instituto. 1985.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Culturas temporárias e permanentes. Produção Agrícola Municipal, Rio Grande do Sul, v. 37, p. 1- 91, 2015.

ISLAM, M.S; HASAN, M.M; XIONG, W; ZHANG, S.C; LEI, C.L. Fumigant and repellent activities of essential oil from *Coriandrum sativum* (L.) (Apiaceae) against red flour beetle *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). **Journal of Pest Science**, 82 (2) (2009), pp. 171-177

JACINTO, K. A. Efeito do consumo de farinha de linhaça (*Linum usitatissimum*) no crescimento de ratos wistar e sua relação com a digestibilidade de globulinas e fatores antinutricionais protéicos nas albuminas. Dissertação (Mestrado em Bioquímica). Programa de Pós-Graduação em Bioquímica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007. 82 p.

JORGE, N.; SOARES, B. B. P.; LUNARDI, V. M.; MALACRIDA, C. R. Alterações físico-químicas dos óleos de girassol, milho e soja em frituras. **Química Nova**, v. 28, n. 6, p. 947-951. 2005.

KASOTE, D. M.; BADHE, Y. S.; HEGDE, M. V. Effect of mechanical press oil extraction processing on quality of linseed oil. **Industrial Crops and Products**, v. 42, n. 1, p. 10–13, 2013.

- KAWASHUMA, L.M; SOARES, L.M. Incidência de fumonisina B1, aflatoxinas B1, B2, G1 e G2, ocratoxina A e zearalenona em produtos de milho. *Ciência e tecnologia de alimentos*, Campinas, 2006.
- KELLS, S.A; MASON, L.J; MAIER, D.E; WOLOSHUK, C.P. Efficacy and fumigation characteristics of ozone in stored maize. **Journal of Stored Products Research**, 37 (4) (2001), pp. 371-382
- KHAN, M. L.; SHARIF, M.; SARWAR, M.; SAMEEA; AMEEN, M. Chemical composition of different varieties of linseed. **Pakistan Veterinary Journal**, v. 30, n. 2, p. 79–82, 2010.
- KIM, J.G; YOUSEF, A.E; DAVE, S. Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of foods: a review. **Journal of Food Protection**, 62 (9) (1999), pp. 1071-1087
- KING, J. C.; BLUMBERG, J.; INGWERSEN, L.; JENAB, M.; TUCKER, K. L. Tree Nuts and Peanuts as Components of a Healthy Diet. **The Journal of Nutrition**, v. 138, n. 9, p. 1736S–1740S, 2008. Disponível em: <<https://academic.oup.com/jn/article/138/9/1736S/4750848>>.
- KUSUMANINGRUM, R.; MANURUNG, H. M.; ARYMURTHY, A. M. CIELab Color Moments: Alternative Descriptors for LANDSAT Images Classification System. **Jurnal INKOM**, v. 8, n. 2, p. 111, 2015. Disponível em: <<http://jurnal.informatika.lipi.go.id/index.php/inkom/article/view/409>>.
- LAZZARI, F. A. Umidade, fungos e micotoxinas na qualidade de sementes, grãos e rações. Curitiba, 1997.
- LEYVA SALAS, M.; MOUNIER, J.; VALENCE, F.; COTON, M.; THIERRY, A.; COTON, E. Antifungal Microbial Agents for Food Biopreservation—A Review. **Microorganisms**, v. 5, n. 3, p. 37, 2017. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2076-2607/5/3/37>>.
- LIMA, C.C. Aplicação das Farinhas de Linhaça (*Linum usitatissimum* L.) e Maracujá (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.) no Processamento de Pães com Propriedades Funcionais. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007. 148 p.
- LIMA, G.; LARANJEIRA, C. (2011) – Física. Determinação da Cor dos óleos (Cor CIE). Texto de apoio às sessões presenciais. Santarém: ESAS.
- MAHAN, L. K; ESCOTT-STUMP, S. Krause: **alimentos, nutrição e dietoterapia**. 9. ed. São Paulo: Roca, 1998. p. 1179.
- MAPELLI-BRAHM, P.; HERNANZ-VILA, D.; STINCO, C. M.; HEREDIA, F. J.; MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A. J. Isoprenoids composition and colour to differentiate virgin olive oils from a specific mill. **LWT - Food Science and Technology**, v. 89, p. 18–23, 2018.
- MARQUES, A.C. Propriedades funcionais da linhaça (*Linum usitatissimum* L.) em diferentes condições de preparo e de uso em alimentos 2008. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, RS, p.17-20, 2008.
- MASETTO, T. E.; GORDIN, C. R. B.; QUADROS, J. de B.; REZENDE, R. K. S.; SCALON, S. de P. Q. Armazenamento de sementes de *Crambe abyssinica* Hochst. ex R.E.Fr. em diferentes embalagens e ambientes. **Revista Ceres**, v. 60, n. 5, p. 646–652, 2013.
- MAZZAFERA, P. Chemical composition of defective coffee beans. **Food Chemistry**, v. 64, n. 4, p. 547–554, 1999.
- McKENZIE, J.A. Ecological and evolutionary aspects of insecticide resistance. **Academic Press**, Austin, 1996 185p.



MENDEZ, F; MAIER, D.E; MASON, L.J; WOLOSHUK, A.C.P. Ozone penetration into stored grain columns and effects on chemical composition and processing performance. **Journal of Research on Stored Products**,39 ( 1 ) ( 2003 ),pp. 33 - 44

MOREIRA, A.V.B; MANCINI-FILHO, J. Influência dos compostos fenólicos de especiarias sobre a lipoperoxidação e o perfil lipídico de tecidos de ratos. **Revista de Nutrição**, v.17, n.4, p.411-424, out. dez. 2004.

MORETTO, E; FETT, R. Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos. São Paulo: Varela, 1998.150p.

MORRIS, D. H. Flax: a health and nutrition primer. 4th ed. Winnipeg: [s. n.], 2007.

MORRIS, D. H. Linaza: una elección inteligente. Novos datos de la linaza - Consejo Canadiense de la Linaza, Winnipeg, p. 1-2, 2006.

MOURA, C.M. **Características físico-químicas, nutricionais e sensoriais de pão de forma com adição de grão de linhaça**. Tese de Doutorado em Ciências e Tecnologia de Alimentos. São Paulo: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

MOYANO, M. J.; MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A. J.; ALBA, J.; HEREDIA, F. J. A comprehensive study on the colour of virgin olive oils and its relationship with their chlorophylls and carotenoids indexes (I): CIEXYZ non-uniform colour space. **Food Research International**, v. 41, n. 5, p. 505–512, 2008.

NEPA; UNICAMP. Tabela brasileira de composição de alimentos: TACO. 2.ed., Campinas: NEPA-UNICAMP, 2011.

NOVELLO, D.; POLLONIO, M. A. R. Caracterização físico-química e microbiológica da linhaça dourada e marrom ( *Linum Usitatissimum* L. ). **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 71, n. 2, p. 291–300, 2012. Disponível em: <<http://revistas.bvs-vet.org.br/rialutz/article/view/5245>>.

NOVELLO, D; POLLONIO, M.A.R. Caracterização físico-química e microbiológica da linhaça dourada e marrom (*Linum usitatissimum* L.). **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v.71, n.2, p. 291-300, 2012.

NÚCLEO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM ALIMENTAÇÃO, N. Tabela brasileira de composição de alimentos CAMPINAS., U.-U. E. D. Brasil 2011.

NYKTER, M.; KYMÄLÄINEN, H. R.; GATES, F.; SJÖBERG, A. M. Quality characteristics of edible linseed oil. **Agricultural and Food Science**, v. 15, n. 4, p. 402–413, 2006.

OETTERER, M; REGINATO-D'ARCE, M.A.B.R; SPOTO, M.H.F. Fundamentos de Ciência e Tecnologia de Alimentos. São Paulo: Manole, 2006.

OLIVEIRA, T.M.; PIROZI, M.R.; BORGES, J.T.S. Elaboração de pão de sal utilizando farinha mista de trigo e linhaça, **Alimentos e Nutrição**, v. 18, n. 2 p. 141-150, Araraquara, 2007.

OWEN, E.B. The storage of seeds for maintenance of viability. Farnham Royal: Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crops, 1956. 81p.

PÉREZ-MARTÍNEZ, M.; SOPELANA, P.; DE PEÑA, M. P.; CID, C. Changes in volatile compounds and overall aroma profile during storage of coffee brews at 4 and 25°C. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 9, p. 3145–3154, 2008.

PIMENTEL, M.A.G; FARONI, L.R.D; GUEDES, R.N.C; SOUSA, A.H; TOTOLA, M.R. Phosphine resistance in Brazilian populations of *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae). **Journal of Stored Products Research**, 45 (1) (2009), pp. 71-74.

PRZYBYLSKI, R; DAUN, J.K. Additional data on the storage stability of milled flaxseed. **Journal of the American Oil Chemists Society**, Champaign, v. 8, p. 105-106, 2001.

- RABETAFIKA, H.N; REMOORTEL, V. VAN; DANTHINE, S; PAQUOT, M; BLECKER, C. Flaxseed proteins: food uses and health benefits Int. **J. Food Sci. Technol.**, 46 (2011), pp. 221-228
- RAMALHO, V. C.; JORGE, N. Antioxidantes utilizados em óleos, gorduras e alimentos gordurosos. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 755-760, 2006.
- RAZERA, L.F.; LAGO, A.A. do.; MAEDA, J.A.; ZINK, E.; GODOY JUNIOR, G. E.; TELLA, R. de. Armazenamento de sementes de arroz e milho em diferentes embalagens e localidades paulistas. *Bragantia*, Campinas, v.45, n.2, p.337-352, 1986.
- RIEDEL, G. Controle sanitário dos alimentos. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 1992. 320p.
- ROTH, H. A; RADLE, L; GIFFORD, S. R; CLYDESDALE F. M Relações psicofísicas entre doçura do açúcar e cor percebida em limão e bebidas com sabor. *Journal of Food Science*, 53 (1998), pp.1116-1162.
- RUSSEL, A. D.; HUGO, W. B.; AVLIFFE, G. A. J. Principles and practice of disinfection, preservation and sterilization. 3.ed. Oxford: **Blackwell Science**, 1999. 826p.
- SANTOS, C; HOZ, L; CAMBERO, M.I; CABEZA, M.C; ORDÓÑEZ, J.A. Enrichment of dry-cured ham with  $\alpha$ -linolenic acid and  $\alpha$ -tocopherol by the use of linseed oil and  $\alpha$ -tocopheryl acetate in pig diets. **Meat Science**, v.80, n.3, p.668–674, 2008.
- SAVI, G.D; PIACENTINI, K.C; BITTENCOURT, K.O; SCUSSEL, V.M. Efficiency of ozone treatment on the degradation of *Fusarium graminearum* and dextroynivalenol and its effects on the quality and germination of wheat grains (*Triticum aestivum* L.) **J. Stored Prod. Res.**, 59 ( 2014 ), pp. 245 - 253
- SHIM, Y. Y.; GUI, B.; WANG, Y.; REANEY, M. J. T. **Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) oil processing and selected products***Trends in Food Science and Technology*, 2015. .
- SILVA, D.J; QUEIROZ, A.C. de. Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2002. 235 p.
- SILVA, F.A.M; BORGES, M.F.M; FERREIRA, M.A. Métodos para avaliação do grau de oxidação lipídica e da capacidade antioxidante. **Química Nova**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 94-103, 1999.
- SILVA, S. B.; LUVIELMO, M. M.; GEYER, M. C.; Prá, I. Potencialidades do uso do ozônio no processamento de alimentos. **Ciências Agrárias**, v.32, p.659-682, 2011. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32n2p659>
- SREY, S.; JAHID, I. K.; HA, S. Biofilm formation in food industries: a food safety concern. **Food Control**, Vurrey. v. 31, n. 2, p. 572-585, June 2013.
- STANAZIOLA, R. Colorimetry and the calculation of color difference. São Paulo: Superlab, 1986. 27p.
- TARPILA, A; WENNBERG, T; TARPILA, S. Flaxseed as a functional food. **Current Topics in Nutraceutical Research**, v.3, n.3, p.167-188, 2005.
- TIWARI, B.K; BRENNAM, C.S; CURRAN, T; GALLAGHER, E; CULLEN, P.J.C; DONNELL, C. P. Review: application of ozone in grain processing **J. Cereal Sci.**, 51 ( 2010 ), pp. 248 – 255
- TOCI, A. T.; NETO, V. J. M. F.; TORRES, A. G.; FARAH, A. Changes in triacylglycerols and free fatty acids composition during storage of roasted coffee. **LWT - Food Science and Technology**, v. 50, n. 2, p. 581–590, 2013.
- TOLEDO, F.F.; MARCOS FILHO, J. Embalagens das sementes. In: Manual das sementes, tecnologia da produção. São Paulo: Agronômica Ceres, cap. 14, p.187-193. 1977.

TONIN, G. A.; PEREZ, S. C. J. G. A. Qualidade fisiológica de sementes de *Ocotea porosa* (Nees et Martius ex. Nees) após diferentes condições de armazenamento e semeadura. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v. 28, n. 2, p. 26-33, 2006

TROMBETE, F.M; FREITAS-SILVA, T.O; SALDANHA, T; VENÂNCIO, A.A; FRAGA, M.E. Ozone against mycotoxins and pesticide residues in food: current applications and perspectives **Int. Food Res. J.**, 23 ( 2016 ), pp. 2545 - 2556.

TRUCOM, C. A importância da linhaça na saúde. São Paulo: Alaúde, 2006. 152p.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE USDA. National nutrient data base for standard reference. Disponível em: <<http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/>>.

UZUN, H.; KAYNAK, E. G.; IBANOGLU, E.; IBANOGLU, S. Chemical and structural variations in hazelnut and soybean oils after ozone treatments. **Grasas y Aceites**, v. 69, n. 2, 2018.

WANG, C.; ERHAN, S.; J. Am. Oil Chem. Soc. 1999, 76, 1211.

WEAVERS, L.K; WICKRAMANAYAKE, G.B. Disinfection and Sterilization Using Ozone. In: Disinfection, Sterilization, and Preservation, 5 th edition. S. S. Block (ed.). New York. (2001).