



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIENCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PROCESSOS



PROCESSAMENTO DO GERGELIM: EXTRAÇÃO DE ÓLEO E
APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS PARA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS

DÉBORA RAFAELLY SOARES SILVA

Orientadores: Prof. Dr. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata
Prof.^a Dr.^a Maria Elita Martins Duarte

CAMPINA GRANDE - PB

Agosto - 2015

**PROCESSAMENTO DO GERGELIM: EXTRAÇÃO DE ÓLEO E
APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS PARA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS**

DÉBORA RAFAELLY SOARES SILVA

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Processos da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Doutora em Engenharia de Processos.

Área de Concentração:

Desenvolvimento de Processos

Orientadores:

Prof. Dr. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata

Prof.^a Dr.^a Maria Elita Martins Duarte

CAMPINA GRANDE - PB

Agosto – 2015

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

S586p Silva, Débora Rafaelly Soares.
Processamento do gergelim : extração de óleo e aproveitamento dos resíduos para produção de alimentos / Débora Rafaelly Soares Silva. – Campina Grande, 2017.
150 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2017.
"Orientação: Prof. Dr. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata, Profa. Dra. Maria Elita Martins Duarte".
Referências.

1. Secagem - Gergelim. 2. Farinha Residual. 3. Extração de Óleo de Gergelim. I. Mata, Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti. II. Duarte, Maria Elita Martins. III. Título.

CDU 66.05(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PROCESSOS



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE

Débora Rafaelly Soares Silva

PROCESSAMENTO DO GERGELIM: EXTRAÇÃO DE ÓLEO E
APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS PARA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS

BANCA EXAMINADORA

PARECER

<u>Mario Eduardate</u> Prof. Dr. Mario Eduardo R. M. Cavalcanti Mata – Orientador	<u>APROVADA</u>
<u>Maria Elita</u> Prof.ª Dr.ª Maria Elita Martins Duarte – Orientadora	<u>APROVADA</u>
<u>Ana Paula Rocha</u> Prof.ª Dr.ª Ana Paula Trindade Rocha – Examinadora	<u>APROVADA</u>
<u>Deyzi Santos Gouveia</u> Prof.ª Dr.ª Deyzi Santos Gouveia – Examinadora	<u>APROVADA</u>
<u>Julice Dutra Lopes</u> Prof.ª Dr.ª Julice Dutra Lopes – Examinadora	<u>Aprovada</u>
<u>Severina de Sousa</u> Prof.ª Dr.ª Severina de Sousa – Examinadora	<u>Aprovada</u>

AGOSTO – 2015

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sua infinita misericórdia, estando presente constantemente em todos os momentos da minha vida. A Virgem Maria, por sua santíssima intercessão e proteção.

A minha mãe, Dalva, pelo amor incondicional, pelo incentivo e apoio em todos os momentos, principalmente nos mais difíceis. Aos meus irmãos, Danyella e Rodolpho, por terem participado de perto, de tudo que vivi; por terem me apoiado e confortado nesta jornada. Enfim, a todos os meus familiares que, de alguma forma, contribuíram.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata e a Prof^a. Dr^a. Maria Elita Martins Duarte, pelo conhecimento transmitido, pela orientação e participação na execução deste trabalho.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida.

Aos professores do curso de Engenharia Agrícola e do Doutorado em Engenharia de Processos, por terem contribuído significativamente na minha formação profissional.

Aos membros da banca examinadora, Ana Paula, Deyse, Julice e Severina, pelas contribuições fundamentais para a melhoria deste estudo.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) por ter disponibilizado as sementes de gergelim da cultivar BRS Seda, matéria-prima essencial para o desenvolvimento do estudo, em especial ao Dr. Odilon Reny Ribeiro Ferreira da Silva e ao Sr. Luiz Geriz de Oliveira Junior, pela atenção prestada.

A todos os funcionários do Laboratório de Engenharia de Alimentos, em especial a Renata pelas suas infindáveis contribuições.

Aos amigos da pós-graduação, pela amizade, apoio e incentivo e pelos bons momentos que passamos juntos.

As amigas Denise, Kaline, Niédja e Patrícia, pela amizade construída desde a graduação e que, certamente, continuará ao longo de nossas vidas, agradeço pelo convívio e apoio durante todos esses anos.

Aos amigos Flávio e Taciano, pessoas incríveis que tive o privilégio de conviver e dividir alegrias e angustias durante o doutorado. De forma especial, a Taciano, por ter sido fundamental na execução desta pesquisa, sempre dedicado e disposto a me ajudar nas dificuldades diárias que surgiram ao longo do trabalho, ao seu lado foi possível transpor os obstáculos e obter o êxito deste estudo.

Enfim, a todos que, de alguma forma, colaboraram na execução deste trabalho.

Meus sinceros agradecimentos!

DEDICÁTORIA

A minha mãe, **Dalva**, pelo exemplo de vida e caráter.

A meus irmãos, **Danyella e Rodolpho**, por serem meus companheiros em todos os momentos da vida.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE TABELAS.....	xvi
APRESENTAÇÃO.....	xx
 CAPÍTULO I: PROPRIEDADES FÍSICAS E DA CINÉTICA DE SECAGEM DAS SEMENTES DE GERGELIM	
RESUMO.....	xxi
ABSTRACT.....	xxii
I.1 - INTRODUÇÃO.....	1
I.2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
I.2.1 - Gergelim.....	3
I.2.2 - Propriedades físicas dos grãos.....	3
I.2.3 - Secagem.....	4
I.2.3.1 - Cinética de secagem.....	5
I.2.4 - Propriedades Termodinâmicas.....	7
I.3 - MATERIAL E MÉTODOS.....	8
I.3.1 - Matéria-prima.....	8
I.3.1.1 - Seleção e caracterização.....	8
I.3.2 - Determinação das propriedades físicas das sementes de gergelim.....	8
I.3.2.1 - Dimensões mutuamente perpendiculares.....	8
I.3.2.2 - Massa.....	8

I.3.2.3 - Volume por deslocamento.....	9
I.3.2.4 - Massa específica real e massa específica aparente.....	9
I.3.2.5 - Porosidade (ϵ).....	9
I.3.2.6 – Circularidade.....	10
I.3.2.7 - Esfericidade.....	10
I.3.2.8 - Área superficial.....	10
I.3.2.9 - Volume.....	11
I.3.2.10 - Ângulo de repouso dinâmico (Θ_{rd}).....	11
I.3.2.11 - Massa de mil sementes.....	11
I.3.3 - Secagem.....	11
I.3.3.1 - Cinética de secagem.....	12
I.4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
I.4.1- Propriedades físicas das sementes de gergelim.....	15
I.4.2 - Cinética de secagem.....	17
I.5 - CONCLUSÕES.....	28
I.6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29
CAPÍTULO II: INFLUÊNCIA DA EXTRAÇÃO DE ÓLEO DE SEMENTES DE GERGELIM COM DIFERENTES TEORES DE ÁGUA NA QUALIDADE DURANTE O ARMAZENAMENTO	
RESUMO.....	37
ABSTRACT.....	38
II.1 - INTRODUÇÃO.....	39
II.2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	40

II.2.1 - Óleo de gergelim.....	40
II.2.1.1 - Óleo extra virgem.....	40
II.2.1.2 - Óleo refinado.....	41
II.2.1.3 - Óleo tostado de gergelim.....	41
II.2.1.4 - Óleo bruto.....	42
II.2.2 - Extração do óleo.....	42
II.2.3 - Composição química, físico-química do óleo de gergelim.....	43
II.2.3.1 - Índice de acidez.....	43
II.2.3.2 - Índice de peróxido.....	43
II.2.3.3 - Índice de refração.....	44
II.2.3.4 - Índice de saponificação.....	44
II.2.3.5 - Índice de iodo.....	45
II.2.3.6 - Densidade	46
II.2.4 - Composição em ácidos graxos.....	46
II.2.5 - Estabilidade de óleos vegetais.....	46
II.2.5.1 - Calorimetria diferencial de varredura (DSC).....	47
II.3 - MATERIAL E MÉTODOS	49
II.3.1 - Extração de óleo de sementes de gergelim.....	49
II.3.1.1 - Rendimento da extração.....	50
II.3.1.2 - Filtragem do óleo de gergelim.....	51
II.3.2 - Armazenamento.....	51
II.3.3 - Caracterização física e físico-química do óleo de gergelim.....	52
II.3.3.1 - Índice de acidez.....	52

II.3.3.2 - Índice de peróxido.....	52
II.3.3.3 - Índice de refração.....	52
II.3.3.4 - Índice de saponificação.....	52
II.3.3.5 - Índice de iodo.....	52
II.3.3.6 - Densidade.....	53
II.3.5 - Calorimetria diferencial de varredura do óleo de gergelim.....	53
II.3.6 - Análise estatística.....	53
II.4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
II.4.1 - Determinação do teor de água e de lipídeo das sementes de gergelim.....	54
II.4.2 - Rendimento do óleo de gergelim.....	54
II.4.3 - Caracterização física e físico-química do óleo de gergelim.....	55
II.4.3.1 - Índice de acidez	58
II.4.3.2 - Índice de peróxido.....	61
II.4.3.3 - Índice de refração.....	65
II.4.3.4 - Índice de saponificação.....	68
II.4.3.5 - Índice de Iodo.....	71
II.4.3.6 - Densidade.....	75
II.4.4 - Calorimetria diferencial de varredura do óleo de gergelim.....	79
II.5 - CONCLUSÕES.....	83
II.6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84
CAPÍTULO III: UTILIZAÇÃO DA FARINHA DE RESÍDUO DE GERGELIM NA ELABORAÇÃO DE ALIMENTOS	

RESUMO.....	92
ABSTRACT.....	93
III.1 - INTRODUÇÃO.....	94
III.2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	95
III.2.1 - Torta.....	95
III.2.2 - Farinha de resíduo de gergelim (FRG).....	96
III.2.3 - Pão.....	96
III.2.4 - Biscoitos.....	97
III.2.5 - Características sensoriais.....	98
III.2.6 - Cor.....	99
III.2.7 - Textura.....	99
III.2.8 - Análises microbiológicas.....	100
III.3 - MATERIAL E MÉTODOS	101
III.3.1 - Matéria-prima.....	101
III.3.2 - Obtenção da farinha de resíduo de gergelim (FRG).....	101
III.3.3 - Caracterização química, física e físico-química da farinha de gergelim.....	102
III.3.3.1 - Teor de água.....	102
III.3.3.2 - Lipídeos.....	102
III.3.3.3 - pH.....	102
III.3.3.4 - Acidez titulável.....	103
III.3.3.5 - Cor.....	103
III.3.3.6 - Atividade de água.....	103

III.3.4 - Obtenção dos pães e biscoitos.....	103
III.3.4.1 - Formulação dos pães.....	103
III.3.4.2 - Preparo dos pães.....	105
III.3.4.3 - Formulação dos biscoitos.....	105
III.3.4.4 - Preparo dos biscoitos.....	106
III.3.5 - Caracterização química, física e físico-química das amostras de pão e biscoito.....	106
III.3.6 - Textura.....	107
III.3.6.1 - Resistência à compressão.....	107
III.3.6.2 - Resistência à quebra.....	108
III.3.7 - Análise microbiológica.....	108
III.3.8 - Análise sensorial.....	109
III.3.8.1 - Teste de aceitação dos produtos fabricados.....	109
III.3.9 - Análise estatística.....	110
III.4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	111
III.4.1 - Caracterização química, física e físico-química da farinha de resíduo de gergelim (FRG).....	111
III.4.2 - Qualidade microbiológica da farinha de resíduo de gergelim e dos seus produtos (pães e biscoitos).....	113
III.4.3 - Caracterização química, física e físico-química dos pães.....	113
III.4.4 - Textura dos pães.....	115
III.4.5 - Análise Sensorial dos pães.....	117
III.4.8.1 - Perfil sensorial dos pães.....	120

III.4.8.2 - Avaliação da intenção de consumo dos pães.....	120
III.4.6 - Caracterização química, física e físico-química dos biscoitos.....	123
III.4.7 - Textura dos biscoitos.....	125
III.4.8 - Análise Sensorial dos biscoitos.....	127
III.4.5.1 - Perfil sensorial dos biscoitos.....	130
III.4.5.2 - Avaliação da intenção de consumo dos biscoitos.....	131
III.5 - CONCLUSÕES.....	135
III.6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	137
APÊNDICE.....	148

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I: PROPRIEDADES FÍSICAS E DA CINÉTICA DE SECAGEM DAS SEMENTES DE GERGELIM

Figura I.4.1 - Curvas da cinética de secagem das sementes de gergelim com ajuste dos dados experimentais pela equação matemática de Page, obtidas por regressão não linear às temperaturas de 30, 35, 40 e 45 °C.....	20
Figura I.4.2 - Curvas da cinética de secagem das sementes de gergelim com ajuste dos dados experimentais pela equação matemática de Henderson & Pabis, obtidas por regressão não linear às temperaturas de 30, 35, 40 e 45 °C.....	21
Figura I.4.3 - Curvas da cinética de secagem das sementes de gergelim com ajuste dos dados experimentais pela equação matemática de Lewis, obtidas por regressão não linear às temperaturas de 30, 35, 40 e 45 °C.....	21
Figura I.4.4 - Curvas da cinética de secagem das sementes de gergelim com ajuste dos dados experimentais pela equação matemática de Cavalcanti Mata, obtidas por regressão não	

	linear às temperaturas de 30, 35, 40 e 45 °C.....	22
Figura I.4.5 -	Curvas da cinética de secagem das sementes de gergelim com ajuste dos dados experimentais pela equação matemática de Thompson, obtidas por regressão não linear às temperaturas de 30, 35, 40 e 45 °C.....	22
Figura I.4.6 -	Curvas da cinética de secagem das sementes de gergelim com ajuste dos dados experimentais pela equação matemática de Midilli, obtidas por regressão não linear às temperaturas de 30, 35, 40 e 45 °C.....	23
Figura I.4.7 -	Difusividade efetiva da semente de gergelim, em função da temperatura do ar de secagem.....	25
Figura I.4.8 -	Representação do modelo de Arrhenius para o coeficiente de difusão efetivo em função da temperatura absoluta do ar de secagem (T_a) durante a secagem das sementes de gergelim...	26

CAPÍTULO II: INFLUÊNCIA DA EXTRAÇÃO DE ÓLEO DE SEMENTES DE GERGELIM COM DIFERENTES TEORES DE ÁGUA NA QUALIDADE DURANTE O ARMAZENAMENTO

Figura II.3.1 -	Prensa hidráulica utilizada para extração do óleo das sementes de gergelim.....	50
Figura II.3.2 -	Embalagens utilizadas para o armazenamento do óleo de gergelim.....	51
Figura II.4.1 -	Índice de acidez do óleo de gergelim extraído com diferentes teores de água (2, 4, 6 e 8%), durante 180 dias de armazenamento.....	61
Figura II.4.2 -	Índice de peróxido do óleo de gergelim extraído com diferentes teores de água (2, 4, 6 e 8%), durante 180 dias de armazenamento.....	65
Figura II.4.3 -	Índice de refração do óleo de gergelim extraído com	

	diferentes teores de água (2, 4, 6 e 8%), durante 180 dias de armazenamento.....	68
Figura II.4.4 -	Índice de saponificação do óleo de gergelim extraído com diferentes teores de água (2, 4, 6 e 8%), durante 180 dias de armazenamento.....	71
Figura II.4.5 -	Índice de iodo do óleo de gergelim extraído com diferentes teores de água (2, 4, 6 e 8%), durante 180 dias de armazenamento.....	74
Figura II.4.6 -	Densidade do óleo de gergelim extraído com diferentes teores de água (2, 4, 6 e 8%), durante 180 dias de armazenamento.....	78
Figura II.4.7 -	Curva oxidativa por calorimetria de varredura a 300°C de óleo de gergelim após 180 dias de armazenamento exposto a luz, (A) Óleo de gergelim extraído a 2%, (B) Óleo extraído a 4%, (C) Óleo extraído a 6% e (D) Óleo extraído a 8% de teor de água.....	80
Figura II.4.8 -	Curva oxidativa por calorimetria de varredura a 300°C de óleo de gergelim após 180 dias de armazenamento sob abrigo da luz, (A) Óleo de gergelim extraído a 2%, (B) Óleo extraído a 4%, (C) Óleo extraído a 6% e (D) Óleo extraído a 8% de teor de água.....	82

CAPÍTULO III: UTILIZAÇÃO DA FARINHA DE RESÍDUO DE GERGELIM NA ELABORAÇÃO DE ALIMENTOS

Figura III.3.1 –	Torta de gergelim obtida após a extração do óleo (A), farinha de resíduo de gergelim (B).....	102
Figura III.3.2 -	Pães formulados com diferentes concentrações de farinha de resíduo de gergelim (FRG)	104
Figura III.3.3 -	Etapas da elaboração dos biscoitos: massa homogeneizada	

	(A); biscoitos assados (B).....	106
Figura III.3.4 -	Teste de resistência à compressão das amostras de pão e biscoito, realizadas através do Texturômetro TA-TXplus.....	107
Figura III.3.5 -	Teste de resistência à quebra das amostras de pão e biscoito, realizadas através do Texturômetro TA-TXplus.....	108
Figura III.4.1 -	Atributos avaliados no escore de pontos do pão padrão e com farinha de resíduo de gergelim (FRG), em diferentes concentrações.....	120
Figura III.4.2 -	Intenção de consumo do pão padrão, formulado sem adição de farinha de resíduo de gergelim.....	121
Figura III.4.3 -	Intenção de consumo do pão formulado com 5% de farinha de resíduo de gergelim.....	121
Figura III.4.4 -	Intenção de consumo do pão formulado com 10% de farinha de resíduo de gergelim.....	122
Figura III.4.5 -	Intenção de consumo do pão formulado com 15% de farinha de resíduo de gergelim.....	123
Figura III.4.6 -	Atributos avaliados no escore de pontos do biscoito padrão e com farinha de resíduo de gergelim (FRG), em diferentes concentrações.....	131
Figura III.4.7 -	Intenção de consumo do biscoito padrão, formulado sem adição de farinha de resíduo de gergelim.....	132
Figura III.4.8 -	Intenção de consumo do biscoito formulado com 5% de farinha de resíduo de gergelim.....	132
Figura III.4.9 -	Intenção de consumo do biscoito formulado com 10% de farinha de resíduo de gergelim.....	133
Figura III.4.10	Intenção de consumo do biscoito formulado com 15% de farinha de resíduo de gergelim.....	134

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I: PROPRIEDADES FÍSICAS E DA CINÉTICA DE SECAGEM DAS SEMENTES DE GERGELIM

Tabela I.2.1 -	Propriedades físicas das sementes de gergelim.....	4
Tabela I.3.1 -	Modelos matemáticos utilizados na predição da secagem de gergelim.....	12
Tabela I.4.1 -	Valores médios das propriedades físicas das sementes de gergelim.....	15
Tabela I.4.2 -	Parâmetros dos modelos analisados, coeficientes de determinação (R^2), desvio padrão da estimativa (SE), erro médio relativo (P) e a tendência da distribuição de resíduos (RES) da cinética de secagem das sementes de gergelim para as diferentes temperaturas.....	18
Tabela I.4.3 -	Coeficientes de difusão da equação de Fick para a cinética de secagem da semente de gergelim nas temperaturas de 30, 35, 40 e 45°C.....	24
Tabela I.4.4 -	Propriedades termodinâmicas do processo de secagem das sementes de gergelim: entalpia específica (Δh), entropia específica (Δs) e energia livre de Gibbs (ΔG).....	26

CAPÍTULO II: INFLUÊNCIA DA EXTRAÇÃO DE ÓLEO DE SEMENTES DE GERGELIM COM DIFERENTES TEORES DE ÁGUA NA QUALIDADE DURANTE O ARMAZENAMENTO

Tabela II.4.1 -	Valor médio do teor de água e de lipídeo da semente de gergelim.....	54
Tabela II.4.2 -	Rendimento do óleo de gergelim extraído com diferentes teores de água de 2,0, 4,0, 6,0 e 8,0%.....	55
Tabela II.4.3 -	Resumo da Análise de Variância (ANOVA) para os índices (acidez, peróxido, refração, saponificação, iodo) e	

	densidade.....	57
Tabela II.4.4 -	Valores médios do índice de acidez do óleo de gergelim, extraído com diferentes teores de água, durante 180 dias de armazenamento.....	60
Tabela II.4.5 -	Valores médios do índice de acidez do óleo de gergelim extraído com diferentes teores de água, armazenados com dois tipos de embalagem durante 180 dias.....	61
Tabela II.4.6 -	Valores médios do índice de peróxido do óleo de gergelim, extraído com diferentes teores de água, durante 180 dias de armazenamento.....	64
Tabela II.4.7 -	Valores médios do índice de peróxido do óleo de gergelim extraído com diferentes teores de água, armazenados com dois tipos de embalagem durante 180 dias.....	65
Tabela II.4.8 -	Valores médios do índice de refração do óleo de gergelim, extraído com diferentes teores de água, durante 180 dias de armazenamento.....	67
Tabela II.4.9 -	Valores médios do índice de saponificação do óleo de gergelim, extraído com diferentes teores de água, durante 180 dias de armazenamento.....	70
Tabela II.4.10 -	Valores médios do índice de iodo do óleo de gergelim, extraído com diferentes teores de água, durante 180 dias de armazenamento.....	73
Tabela II.4.11 -	Valores médios do índice de iodo do óleo de gergelim extraído com diferentes teores de água, armazenados com dois tipos de embalagem durante 180 dias.....	74
Tabela II.4.12 -	Valores médios da densidade do óleo de gergelim, extraído com diferentes teores de água, durante 180 dias de armazenamento.....	77

Tabela II.4.13 - Valores médios da densidade do óleo de gergelim extraído com diferentes teores de água, armazenados comm dois tipos de embalagem durante 180 dias.....	78
--	----

CAPÍTULO III: UTILIZAÇÃO DA FARINHA DE RESÍDUO DE GERGELIM NA ELABORAÇÃO DE ALIMENTOS

Tabela III.3.1 - Proporção de farinha de trigo (g) e farinha de resíduo de gergelim (FRG) (g) utilizadas na elaboração dos pães.....	104
Tabela III.3.2 - Proporção de ingredientes acrescentados às formulações de farinha de trigo e farinha de resíduo de gergelim (FRG), utilizados na elaboração dos pães.....	104
Tabela III.3.3 - Proporção de farinha de trigo (g) e farinha de resíduo de gergelim (FRG) (g) utilizadas na elaboração dos biscoitos.....	105
Tabela III.3.4 - Proporção de ingredientes acrescentados às formulações de farinha de trigo e farinha de resíduo de gergelim (FRG), utilizados na elaboração dos biscoitos.....	106
Tabela III.4.1 - Características química, física e físico-química da farinha de resíduo de gergelim (FRG).....	111
Tabela III.4.2 - Características química, física e físico-química do pão padrão e com farinha de resíduo de gergelim (FRG), em diferentes concentrações.....	113
Tabela III.4.3 - Medidas dos parâmetros de textura (firmeza, coesividade, elasticidade, mastigabilidade e resistência à quebra) dos pães formulados com diferentes concentrações de farinha de resíduo de gergelim.....	116
Tabela III.4.4 - Médias de avaliação de aceitação das amostras de pão padrão e com adição de farinha de resíduo de gergelim.....	117
Tabela III.4.5 - Dados das médias e coeficiente de concordância entre julgadores (CC) da análise sensorial do pão padrão e com	

	adição de farinha de resíduo de gergelim, quanto aos parâmetros cor, aparência, aroma, textura e sabor.....	119
Tabela III.4.6 -	Características química, física e físico-química do biscoito padrão e com farinha de resíduo de gergelim (FRG), em diferentes concentrações.....	123
Tabela III.4.7 -	Medidas dos parâmetros de textura (firmeza, coesividade, elasticidade, mastigabilidade e resistência à quebra) dos biscoitos formulados com diferentes concentrações de farinha de resíduo de gergelim.....	126
Tabela III.4.8 -	Médias de avaliação de aceitação das amostras de biscoito padrão e com adição de farinha de resíduo de gergelim.....	127
Tabela III.4.9 -	Dados das médias e coeficiente de concordância entre julgadores (CC) da análise sensorial do biscoito padrão e com adição de farinha de resíduo de gergelim, quanto aos parâmetros cor, aparência, aroma, textura e sabor.....	129

APRESENTAÇÃO

O gergelim é um alimento de alto valor nutricional, rico em óleo e proteínas, podendo ser utilizado em diversos segmentos industriais. Para uma eficiente utilização e aceitação do consumo dessa oleaginosa se faz necessário o estudo das propriedades funcionais dos produtos desenvolvidos, sendo de extrema importância o controle da temperatura e do teor de água das sementes de gergelim durante o processo de extração do óleo, pois estes parâmetros interferem diretamente na qualidade final do produto. Além do conhecimento dos parâmetros decorrentes no processo de extração, é necessário desenvolver técnicas de uso eficiente que agreguem valor ao resíduo gerado durante o processo de produção deste óleo.

Visando obter informações que possam contribuir com os conceitos até então estudados a respeito das aplicabilidades da semente de gergelim, foram realizados estudos específicos abordados em três capítulos. O primeiro capítulo visa à determinação das propriedades físicas das sementes de gergelim, bem como, o estudo da cinética de secagem das sementes sob diferentes temperaturas.

No segundo capítulo é realizado um estudo sobre a influência do teor de água das sementes no processo de extração do óleo de gergelim, enfatizando as modificações das características químicas, físico-químicas e, a estabilidade do óleo ao longo de 180 dias em diferentes condições de armazenamento. O terceiro capítulo refere-se à necessidade de técnicas que agreguem valor a farinha residual obtida no processo de extração do óleo de gergelim, tendo como finalidade o uso desta farinha como fonte alternativa de enriquecimento proteico de produtos alimentícios.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PROCESSOS



Tese de Doutorado: **Processamento do gergelim: extração de óleo e aproveitamento dos resíduos para produção de alimentos**

Autora: **Débora Rafaelly Soares Silva**

Orientadores: **Prof. Dr. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata**

Prof.^a Dr.^a Maria Elita Martins Duarte

CAPÍTULO I

PROPRIEDADES FÍSICAS E CINÉTICA DE SECAGEM DAS SEMENTES DE GERGELIM

RESUMO

O gergelim é uma cultura bastante adaptada às condições edafoclimáticas do Nordeste, configurando-se como um excelente potencial econômico para esta região, entretanto, as sementes perdem rapidamente a viabilidade quando manipuladas e armazenadas sem os devidos cuidados, sendo necessário o uso de técnicas que preservem a qualidade dessas sementes ao longo do armazenamento. Assim, objetivou-se com este trabalho determinar as propriedades físicas, bem como, o estudo da cinética de secagem desta oleaginosa quando submetida às temperaturas de 30, 35, 40 e 45°C aplicando diferentes modelos matemáticos aos dados observados, além de obter as propriedades termodinâmicas durante a secagem. As sementes de gergelim cultivar BRS Seda foram caracterizadas fisicamente quanto a sua forma, tamanho, volume, área superficial, massa específica, circularidade, esfericidade e a massa de 1000 sementes. As sementes foram submetidas à secagem em um secador de leito fixo, nas temperaturas de 30, 35, 40 e 45 °C. Os dados experimentais de secagem das sementes de gergelim em camada fina foram ajustados às equações de Page, Henderson e Pabis, Lewis, Cavalcanti Mata, Thompson e Midilli. Com base nos resultados obtidos para o ângulo de repouso das sementes de gergelim, pode-se afirmar que esta cultivar apresenta uma boa fluidez, favorecendo o processamento deste produto. Com relação à massa de mil sementes, verifica-se que a cultivar avaliada atende satisfatoriamente aos padrões exigidos pelo mercado. A melhor predição ao processo de cinética de secagem foi obtida pelo modelo de Cavalcanti Mata. O aumento da temperatura do ar de secagem promoveu o aumento da difusividade das sementes e da energia livre de Gibbs e reduziu os valores das propriedades de entalpia e entropia.

Palavra-chave: *Sesamum indicum L.*, caracterização, modelo matemático.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PROCESSOS



Doctoral Thesis: **Sesame Processing : Oil extraction and use waste for food production**

Author : **Débora Rafaelly Soares Silva**

Supervisors: **Prof. Dr. Mario Rangel Eduardo Moreira Cavalcanti Mata**
Prof.^a Dr.^a Maria Elita Martins Duarte

CHAPTER I

PHYSICAL PROPERTIES AND DRYING KINETICS OF SESAME SEEDS

ABSTRACT

Sesame is a crop very adapted to the edaphoclimatic conditions of the Northeast, constituting as an excellent economic potential for this region, however, the seeds lose the viability quickly when manipulated and stored without the proper care, being necessary the use of techniques that preserve the quality of these seeds throughout the storage. The objective of this study was to determine the physical properties and the drying kinetics of this oil when subjected to temperatures of 30, 35, 40 and 45 ° C, applying different mathematical models to the observed data. thermodynamic properties during drying. Silage BRS sesame seeds were physically characterized as to their shape, size, volume, surface area, specific mass, circularity, sphericity and the mass of 1000 seeds. The seeds were dried in a fixed bed dryer at temperatures of 30, 35, 40 and 45 ° C. Experimental drying data of the thin layer sesame seeds were adjusted to the equations of Page, Henderson and Pabis, Lewis, Cavalcanti Mata, Thompson and Midilli. Based on the results obtained for the angle of repose of the sesame seeds, it can be stated that this cultivar presents an excellent flowability, favoring the processing of this product. With respect to the mass of one thousand seeds, it is verified that the evaluated cultivar satisfies to the standards demanded by the market. The best prediction to the drying kinetic process was obtained by Cavalcanti Mata model. Increasing drying air temperature promoted increased seed diffusivity and Gibbs free energy and reduced enthalpy and entropy values.

Keyword: *Sesamum indicum L.*, characterization, mathematical model.

I.1 - INTRODUÇÃO

O gergelim (*Sesamum indicum L.*), pertencente à família Pedaliaceae, é constituído por 16 gêneros e 60 espécies encontradas em áreas tropicais e subtropicais. No mundo, o gergelim é cultivado em 65 países, especialmente na Ásia e África, destacando-se como principais produtores Índia, Myanmar, Sudão e China, responsáveis por aproximadamente 70% da superfície cultivada mundialmente. No Brasil, é cultivado tradicionalmente na maioria dos estados nordestinos e na região centro-sul do país (ARRIEL et al., 2009).

Esta cultura apresenta ampla adaptabilidade às condições edafoclimáticas de clima tropical quente e tolerância a déficit hídrico; é de fácil cultivo características estas que a transformam em excelente opção para a diversificação agrícola com um grande potencial econômico, nos mercados nacionais e internacionais (BELTRÃO & VIEIRA, 2001). Entretanto, as sementes de gergelim perdem rapidamente a viabilidade quando manipuladas e armazenadas sem os devidos cuidados.

Considerando a necessidade de melhorias tecnológicas no processamento pós-colheita, objetivando produtos de maior qualidade, o conhecimento das propriedades físicas de produtos agrícolas é de fundamental importância para uma correta conservação e para o dimensionamento e operação de equipamentos (GONELI, 2008). Informações a respeito do tamanho, forma, porosidade, massa específica, entre outras características físicas dos produtos agrícolas, são consideradas como atributos básicos para o estudo das condições de secagem e armazenagem, possibilitando a predição de perdas de qualidade do material até o momento de sua comercialização (SILVA et al., 2003).

O alto teor de água presente na semente de gergelim é um dos principais fatores que contribuem para a perda de qualidade deste produto na pós-colheita. Para que ocorra um armazenamento adequado, parte da água contida na semente deve ser removida. A secagem é a etapa, dentro do processamento de grãos, que removerá o excesso de água de forma a propiciar condições adequadas para o beneficiamento, armazenamento e comercialização. Ela é, dentre as práticas de pós-colheita, uma das mais importantes, pois ao diminuir o teor de água do produto reduz o risco de infestação por microrganismos e a ocorrência de reações enzimáticas preservando-lhes a qualidade, o valor nutritivo e ainda assegurando o poder germinativo (ANDRADE et al., 2006).

A representação dos fenômenos de secagem dos grãos é realizada por curvas de modelos ajustados aos dados experimentais. Segundo MIDILLI et al. (2002), existem três tipos de modelos de secagem em camada delgada que visam descrever a cinética de

secagem de produtos agrícolas. O modelo teórico, que considera apenas a resistência interna, a transferência de calor e a água entre o produto e o ar quente; os modelos semiteóricos e os empíricos, que consideram somente a resistência interna, a temperatura e a umidade relativa do ar de secagem.

Dentre os modelos teóricos que são aplicados ao processo de secagem, o modelo da difusão é o mais intensamente investigado. Este modelo é aplicado em processos de secagem de um sólido à taxa decrescente, considerando, como mecanismo principal, a difusão baseada na segunda Lei de Fick, que descreve que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de água (PARK et al., 2002).

A partir da utilização do modelo da difusão é possível determinar as principais propriedades termodinâmicas envolvidas no processo de secagem, como a entalpia, entropia e energia livre de Gibbs. As propriedades termodinâmicas podem ser usadas para compreender a energia associada com a transferência de calor e massa em um processo de secagem de produtos biológicos. O conhecimento das propriedades termodinâmicas nas etapas de secagem de produtos agrícolas também é importante fonte de informação para projetar secadores, calcular a energia requerida na etapa, estudar as propriedades da água adsorvida, avaliar a microestrutura dos alimentos e estudar os fenômenos físicos que ocorrem na superfície dos alimentos (OLIVEIRA et al., 2011).

Com base na necessidade de informações teóricas a respeito dos fenômenos que ocorrem durante o processo de secagem das sementes de gergelim, objetivou-se com este estudo determinar as propriedades físicas, bem como, a cinética de secagem desta oleaginosa quando submetida às temperaturas de 30, 35, 40 e 45°C, aplicando diferentes modelos matemáticos aos dados observados, além de obter as propriedades termodinâmicas durante a secagem.

I.2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

I.2.1 - Gergelim

O gergelim é uma planta herbácea, gamopétala, pertencente à família das pedaliáceas (*Sesamum indicum* L.), podendo ser anual ou perene, dependendo da cultivar. É uma oleaginosa de ampla adaptabilidade, seu cultivo prospera em regiões de alta temperatura, baixa altitude e iluminação solar abundante. Em geral, é resistente à seca e apta para o cultivo em zonas áridas e semi-áridas e em épocas de escassa precipitação (ARRIEL; VIEIRA; FIRMINO, 2006).

Cerca de 90% do gergelim produzido mundialmente é destinado ao consumo alimentício (KOURI & ARRIEL, 2009), um alimento de grande valor nutritivo, que constitui opção para o Semiárido nordestino, como alternativa de renda, fonte de proteína para o consumo humano e enriquecimento de outros produtos, dos segmentos fitoterápicos e fitocosméticos (BELTRÃO & VIEIRA, 2001).

Na região Nordeste, o gergelim faz parte do consumo popular da classe de baixa renda, apresentando-se como opção extremamente importante, por se constituir em mais uma alternativa de renda e fonte de proteína para os pequenos e médios produtores, a importância econômica desta cultura vem crescendo gradativamente devido às descobertas para novas fontes de aproveitamento do grão e seus produtos (BELTRÃO, 2010).

O gergelim é uma opção de cultivo rentável, tradicionalmente explorado em pequenas e médias propriedades agrícolas nordestinas, principalmente por ser tolerante à seca, de fácil cultivo e ampla adaptabilidade às condições edafoclimáticas. O maior diferencial da cultura do gergelim na região Nordeste ocorreu no final de 2007 com o lançamento da variedade BRS Seda, com frutos deiscentes e com sementes de cor branca, pela Embrapa Algodão (QUEIROGA; GONDIM; QUEIROGA, 2009). De acordo com Mazzani e Layrisse (1998), este genótipo atende aos padrões mínimos internacionais de mercado de 50 a 52% de óleo das sementes e de 21% de proteínas nas sementes descascadas, cujas características intrínsecas da nova cultivar irão permitir maior aceitação nos mercados nacional e internacional (QUEIROGA et al., 2010).

I.2.2 - Propriedades físicas dos grãos

O conhecimento das propriedades físicas dos grãos é essencial no que se refere às

pesquisas com produtos alimentícios, pois auxilia na estimativa da velocidade de secagem para alimentos de variada composição e forma geométricas, quando submetidos a diferentes condições de secagem, aquecimento e resfriamento (RIBEIRO; SOBRAL; SILVA, 2002).

Além disso, é fundamental em projetos de engenharia envolvendo dimensionamento de máquinas e equipamentos para semeadura, colheita, manuseio, armazenamento, secagem e aeração. Também é útil em problemas relacionados com fenômenos de transferência de calor e massa durante a secagem e armazenamento de produtos com alto nível de umidade (BENEDETTI, 1987).

De acordo com Embrapa (2000), as sementes, principal produto do gergelim, são pequenas, 1000 sementes pesam de dois a quatro gramas dependendo do cultivar e do ambiente, com coloração variando do branco ao preto. Na Tabela I.2.1, podem ser observadas algumas propriedades físicas do gergelim.

Tabela I.2.1 - Propriedades físicas das sementes de gergelim

PROPRIEDADES FÍSICAS	VALOR MÉDIO
Comprimento (mm)	2,80
Largura (mm)	1,69
Espessura (mm)	0,82
Diâmetro geométrico médio (mm)	1,56
Massa de 100 sementes (g)	0,203
Volume de 100 sementes (unidade)	0,167
Densidade (kg/m ³)	1224

Fonte: Adaptado de Tunde-Akintunde & Akintunde (2004)

I.2.3 - Secagem

Secagem é a remoção, voluntária ou não, total ou parcial, de uma fase líquida ou gasosa de qualquer material, envolvendo exclusivamente a transferência de calor e massa.

A secagem é utilizada, sobretudo, quando o processo envolve a transferência de calor do ambiente para o produto, a evaporação da água líquida contida no produto e sua retirada na forma de vapor, em convecção natural ou forçada (FIOREZE, 2004). Existem dois métodos de secagem: a natural, feita pelo sol ou vento (método mais antigo); e a

artificial, a qual necessita de fornecimento de energia. As vantagens de se utilizar o processo de secagem são várias, dentre as quais: a facilidade na conservação do produto; a estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura ambiente por longos períodos de tempo; a proteção contra degradação enzimática e oxidativa; a redução do peso do produto; a economia de energia por não necessitar de refrigeração e a disponibilidade do produto durante qualquer época do ano (PARK et al., 2001; MAHAYOTHEE et al., 2009; FEMENIA et al., 2009).

Na extração de óleo, a secagem de grãos é uma prática usual que facilita o processo no que diz respeito ao contato entre o solvente e o soluto (óleo) a ser extraído, resultando em maiores rendimentos. Neste processo, a temperatura é um dos fatores mais importantes, podendo afetar as propriedades físico-químicas do óleo, levar à rancificação de gorduras e alterar pigmentos, tais como os carotenoides, quando submetidos a altas temperaturas. Dessa forma, a seleção das condições de operação (tipo de secagem e tempo) que minimizam essas alterações é importante para obtenção de produtos de qualidade (AQUINO et al., 2009).

Oliveira et al. (2011) ao determinarem as características físico-químicas dos co-produtos (óleo e torta) do gergelim cv. CNPA-G4, verificaram que o processo de extração de óleo nas sementes torradas apresentou maior rendimento de óleo quando comparado às sementes *in natura*.

I.2.3.1 - Cinética de secagem

A análise da cinética de secagem fornece informações sobre o comportamento da transferência de massa entre o produto e o agente de secagem, normalmente o ar atmosférico, o qual é de importância fundamental para a modelagem matemática e o projeto de secadores (GUEDES & FARIA, 2000). É através deste estudo que se estabelecem as equações de teor de água em função do tempo de secagem para os diferentes períodos de secagem (PRADO, 2004).

No período de secagem à taxa constante, as transferências de calor e de massa na interface ar-produto governam a secagem e fixam sua velocidade, enquanto que no período, à taxa decrescente, as transferências internas é que são limitantes. O período de taxa decrescente de secagem é quase sempre o único observado para a secagem de produtos agrícolas e alimentícios. A quantidade de água presente na superfície do produto é menor, reduzindo-se, portanto, a transferência de massa. A transferência de calor não é

compensada pela transferência de massa; o fator limitante nessa fase é a redução da migração de água do interior para a superfície do produto. A temperatura do produto aumenta, atingindo a temperatura do ar de secagem. Quando o produto atinge o ponto de teor de água de equilíbrio em relação ao ar de secagem, o processo é encerrado (PARK et al., 2004).

Existem três tipos de modelos de secagem utilizados para descrever a cinética de secagem de produtos agrícolas: o modelo teórico, que considera apenas a resistência interna à transferência de calor e água entre o produto e o ar quente, e os modelos semiteórico e empírico, que consideram somente a resistência externa à temperatura e umidade relativa do ar de secagem (MIDILLI; KUCUK; YAPAR, 2002).

Os modelos semiteóricos são, geralmente, derivados da simplificação da segunda Lei de Fick, oferecendo facilidade de uso, mas sendo válidos somente para as faixas de temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e teor de água em que eles foram obtidos (PANCHARIYA et al. 2002).

O método empírico é utilizado para análises de secagem através de dados experimentais que podem ser determinados em laboratório e na utilização da análise adimensional; este método se baseia em geral nas condições externas de secagem, não fornecendo indicações sobre o transporte de energia e massa no interior do produto, muito embora forneça informações para elaboração de projetos (FORTES & OKOS, 1980).

Dentre os modelos teóricos aplicados ao processo de secagem, o modelo da difusão é o mais intensamente investigado. Este modelo considera, como mecanismo principal, a difusão baseada na segunda Lei de Fick, que descreve que o fluxo de massa por unidade de área é proporcional ao gradiente de concentração de água (PARK et al. 2002).

A difusão de sementes durante a secagem é um processo complexo que pode envolver diferentes mecanismos como fluxo hidrodinâmico e as difusões: líquida, capilar, superficial, de vapor e térmica (BROOKER et al., 1992). Deve-se salientar que os modelos baseados na segunda Lei de Fick não são rigorosamente representativos dos diversos mecanismos que prevalecem no transporte de água em sementes, o coeficiente de difusão determinado é considerado aparente ou efetivo (ROCA et al., 2008). Outro fator que contribui para a complexidade do mecanismo de difusão é a diversidade da composição química e a estrutura física do produto. Logo, as literaturas disponíveis apresentam elevada variação nos seus valores, não só devido à complexidade dos produtos, como também em função dos diferentes métodos de estimação, tipo de material, teor de água, processo de secagem e metodologia (ZOGZAS et al., 1996; PARK et al., 2002).

I.2.4 - Propriedades Termodinâmicas

Ao estudar as principais propriedades termodinâmicas envolvidas no processo de secagem de produtos biológicos, como a entalpia, entropia e energia livre de Gibbs, busca-se compreender a energia associada com a transferência de calor e massa durante o processo.

A entalpia consiste no calor liberado ou absorvido pelo alimento à pressão constante. Mudanças na entalpia fornecem uma medida da variação de energia quando ocorre uma interação entre as moléculas de água com os constituintes do grão durante o processo de sorção (RODOVALHO et al., 2015).

A entropia é uma função de estado, associada ao grau de ordem ou desordem das moléculas de água do sistema (água-grão). Para um sistema de baixa densidade, como é o caso dos produtos desidratados, quanto maior a desordem maior a entropia associada a este sistema (BENEDETTI, 2010).

A energia livre de Gibbs pode indicar o quanto a água esta ligada ao produto, além de fornecer um critério de avaliação sobre a remoção desse fluido. A espontaneidade do processo de secagem está diretamente relacionada com os valores de energia livre de Gibbs, ou seja, se os valores forem negativos o processo é caracterizado como espontâneo, mas se os valores forem positivos o processo torna-se não-espontâneo (TELIS et al., 2000). Essa energia é considerada como uma medida do trabalho feito pelo sistema para realizar o processo de secagem.

I.3 - MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Engenharia de Alimentos, da Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos, no Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

I.3.1 - Matéria-prima

Nesta pesquisa foram utilizadas sementes de gergelim da cultivar BRS SEDA, fornecidas pela EMBRAPA - Algodão, situada em Campina Grande - PB.

I.3.1.1 - Seleção e caracterização

Inicialmente as sementes de gergelim foram submetidas a um processo de seleção, objetivando eliminar as sementes que apresentavam imperfeições e sujidades. Posteriormente, as sementes foram caracterizadas fisicamente quanto a sua forma, tamanho, volume, área superficial, massa específica, circularidade, esfericidade e a massa de 1000 sementes.

I.3.2 - Determinação das propriedades físicas das sementes de gergelim

I.3.2.1 - Dimensões mutuamente perpendiculares

A avaliação das dimensões foi realizada para um grupo de 30 sementes de gergelim enumeradas, cada semente foi medida em seus três eixos mutuamente perpendiculares comprimento (a), largura (b) e espessura (c) com o auxílio de paquímetro digital com precisão de 0,01 mm.

I.3.2.2 - Massa

A massa da semente foi determinada, através de pesagem em balança analítica de precisão 0,0001g.

I.3.2.3 - Volume por deslocamento

A determinação do volume foi feita pelo método do deslocamento de água utilizando-se a Equação 1.

$$\text{Volume (cm}^3\text{)} = \frac{\text{massa de fluido deslocado (g)}}{\text{massa específica do fluido (g.cm}^{-3}\text{)}} \quad (1)$$

I.3.2.4 - Massa específica real e massa específica aparente

A massa específica real (ρ_{real}) foi determinada através da Equação 2.

$$\rho_{\text{real}} = \frac{m}{V_{\text{real}}} \quad (2)$$

Em que: m - massa de uma unidade do produto (g) e V_{real} - volume real (cm^3).

A massa específica aparente (ρ_a) foi calculada pela relação entre a massa das sementes e o volume ocupado por estas sementes (volume do recipiente). A relação utilizada para este cálculo foi a seguinte:

$$\rho_a = \frac{m}{V_a} \text{ (g.cm}^{-3}\text{, kg.m}^{-3}\text{ ou ton.m}^{-3}\text{)} \quad (3)$$

Em que: m - massa das sementes que ocupam um certo recipiente e V_a - volume do recipiente que contém a amostra de sementes.

I.3.2.5 - Porosidade (ε)

É definida como sendo a percentagem de espaços vazios existentes na massa do produto. A porosidade foi determinada através da Equação 4.

$$\varepsilon = \left[1 - \left(\frac{\rho_a}{\rho_r} \right) \right] \quad (4)$$

Em que: ε - porosidade da massa granular (%); ρ_a - massa específica aparente (g.cm^{-3}) e ρ_r - massa específica real ou unitária (g.cm^{-3}).

I.3.2.6 - Circularidade

É um fator que indica o quanto circular é um produto. A circularidade, foi determinada através da Equação (5).

$$Cr = \left(\frac{b}{a}\right) 100 \quad (5)$$

Em que: Cr - é a circularidade (%); a - maior eixo da semente (mm); b - eixo intermediário da semente (mm).

I.3.2.7 - Esfericidade

A esfericidade das sementes foi determinada com base na média geométrica dos três eixos perpendiculares (comprimento, largura e espessura) ao corpo em relação ao maior eixo (comprimento), de acordo com a Equação (6).

$$\varphi = \frac{\left[(a \cdot b \cdot c)^{\frac{1}{3}}\right]}{a} \times 100 \quad (6)$$

Em que: φ - esfericidade (%); a - maior eixo da semente (mm); b - eixo intermediário da semente (mm); c - menor eixo da semente (mm).

I.3.2.8 - Área superficial

A área superficial (S) das sementes de gergelim foi obtida utilizando os eixos ortogonais de acordo com a Equação 7.

$$S = \pi D_g^2 \quad (7)$$

Em que: S - Área superficial; D_g - diâmetro geométrico (Equação 8).

$$D_g = (a \cdot b \cdot c)^{1/3} \quad (8)$$

I.3.2.9 - Volume

O volume da semente de gergelim foi determinado através da Equação 9.

$$V = \frac{\pi}{6} D_g^3 \quad (9)$$

Em que: V- volume, mm³

I.3.2.10 - Ângulo de repouso dinâmico (Θ_{rd})

É o ângulo de inclinação da superfície plana, em que se encontra empilhada a semente, necessário para iniciar o movimento de escoamento das sementes. O ângulo de repouso dinâmico de sementes foi determinado usando-se uma estrutura de madeira montada sobre uma plataforma plana móvel. A plataforma foi inclinada até o momento em que as sementes iniciassem o movimento. Neste instante, mediu-se o ângulo correspondente ao início do movimento, obtendo-se o ângulo de repouso dinâmico.

I.3.2.11 - Massa de mil sementes

Para determinação da massa de mil sementes foram retiradas ao acaso, 5 amostras de 1000 unidades de sementes de gergelim e, em seguida, pesadas com o auxílio de uma balança semi-analítica (Mod. JA3000N) (BRASIL, 2009).

I.3.3 - Secagem

Inicialmente foi determinado o teor de água das sementes de gergelim a partir do método padrão da estufa a 105 ± 3 °C, de acordo com as regras estabelecidas para análise de sementes (BRASIL, 2009). Em seguida, as sementes foram submetidas ao processo de umedecimento, tendo como finalidade simular uma condição de campo, até que atingissem o teor de água em torno de 16% (b.u.). As sementes foram acondicionadas em cestas de arame onde ficaram suspensas sobre bandejas plásticas com água destilada. O conjunto (cesta com sementes e bandeja) foi envolvido por um plástico filme, vedado, e em seguida, levado a uma câmara do tipo BOD com temperatura de 6 °C. Durante o processo de umedecimento foram realizadas pesagens periódicas, utilizando uma balança eletrônica,

com precisão de 0,001g até atingir o peso referente ao teor de água desejado. A quantidade de água adsorvida pelas sementes, em gramas, foi determinada por meio da Equação 10.

$$P_f = P_i \times \frac{100 - X_i}{100 - X_f} \quad (10)$$

Em que:

Pf - peso final da amostra, g

Pi - peso inicial da amostra, g

Xi - teor de água inicial das sementes, % (b.u.)

Xf - teor de água desejada das sementes, % (b.u.)

Após o umedecimento, as amostras foram submetidas à secagem em camada fina, através de um secador de leito fixo, modelo SCAL, nas temperaturas de 30, 35, 40 e 45 °C, com velocidade do ar de secagem de 1m.s⁻¹. Durante o processo de secagem foram realizadas pesagens periódicas das amostras até o momento em que atingissem o peso constante.

I.3.3.1 - Cinética de secagem

As equações de Page, Henderson & Pabis, Lewis, Cavalcanti Mata, Thompson e Midilli, foram utilizadas na predição dos dados experimentais da secagem das sementes de gergelim, conforme descrito na Tabela 1.3.1.

Tabela I.3.1 - Modelos matemáticos utilizados na predição da secagem de gergelim

Modelos	Equação
PAGE	$RX = \exp(-k \cdot t^n)$ (11)
HENDERSON & PABIS	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t)$ (12)
LEWIS	$RX = \exp(-k \cdot t)$ (13)
CAVALCANTI MATA	$RX = a_1 \cdot \exp(-k_1 \cdot t^{n_1}) + a_2 \cdot \exp(-k_1 \cdot t^{n_2}) + a_3$ (14)
THOMPSON	$RX = \exp\{-[a - (a^2 + 4 \cdot b \cdot t)^{0,5}]/2 \cdot b\}$ (15)
MIDILLI	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$ (16)

Em que:

RX - Razão do teor de água;

t - tempo (min);

k, k₁ - constantes de secagem;

n, n₁, n₂, a₁, a₂, a₃ e b - coeficientes das equações.

O coeficiente de difusão efetivo (D_{ef}) foi obtido por meio do ajuste do modelo matemático da difusão líquida descrito pela Equação 17, aos dados experimentais da secagem das sementes de gergelim. Essa equação é a solução analítica para a segunda lei de Fick, considerando a forma geométrica do produto como uma placa plana e com a aproximação de quatro termos da série, os quais apresentaram melhores ajustes aos dados experimentais da secagem.

$$RX = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[-(2n+1)^2 \pi^2 D_{ef} \frac{t}{4L^2} \right] \quad (17)$$

Em que:

D_{ef} - coeficiente de difusão, $m^2 \cdot s^{-1}$

t - tempo de secagem, s

L - espessura do produto, m

n - número de termos do modelo

Para avaliar a influência da temperatura no coeficiente de difusão efetivo, foi utilizada a equação de Arrhenius, descrita da seguinte forma:

$$D_{ef} = D_0 \exp \left(\frac{E_a}{RT_a} \right) \quad (18)$$

Em que:

D_0 - fator pré-exponencial

T_a - temperatura absoluta, K

R - constante universal dos gases, $8,314 \text{ KJ Kmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$

E_a - energia de ativação, KJmol^{-1}

A obtenção dos coeficientes do modelo de Arrhenius foi realizada com a aplicação do logaritmo, representado pela Equação 19.

$$\ln(D_{ef}) = \ln(D_0) - \frac{E_a}{R} \frac{1}{T_a} \quad (19)$$

A determinação das propriedades termodinâmicas entalpia específica (ΔH), entropia específica (ΔS) e energia livre de Gibbs (ΔG) relacionadas ao processo de secagem das sementes de gergelim, foram realizadas de acordo com o método de Jideani Mpotokwana (2009), conforme descrito nas Equações 20, 21 e 22.

$$\Delta H = E_a - RT_a \quad (20)$$

$$\Delta S = R \left[\ln(D_0) - \ln\left(\frac{k_B}{h_P}\right) - \ln(T_a) \right] \quad (21)$$

$$\Delta G = \Delta H - T_a \Delta S \quad (22)$$

Para a predição dos modelos matemáticos aos dados experimentais da cinética de secagem de gergelim foram realizadas análises de regressão não linear, através do método numérico de Quasi-newton contido no programa estatístico Statsoft Statistica 7.0. Como critério de seleção, para expressar o grau de ajuste de cada modelo considerou a magnitude do coeficiente de determinação (R^2), do erro médio relativo (P) e do desvio padrão da estimativa (SE), além da verificação do comportamento da distribuição dos resíduos. O erro médio relativo (P) e o desvio padrão da estimativa (SE) foram determinados conforme descrito pelas Equações 23 e 24.

$$P = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{|Y - Y_0|}{Y} \right) \quad (23)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y - Y_0)^2}{GLR}} \quad (24)$$

Em que:

Y - valor observado experimentalmente;

Y_0 - valor estimado pelo modelo;

N - número de observações experimentais;

GLR - graus de liberdade do modelo (número de observações menos o número de parâmetros do modelo).

I.4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

I.4.1- Propriedades físicas das sementes de gergelim

Na Tabela I.4.1, tem-se os valores médios da caracterização física das sementes de gergelim.

Tabela I.4.1 - Valores médios das propriedades físicas das sementes de gergelim

Propriedades	Média e Desvio padrão
Comprimento (mm)	3,09 ± 0,05
Largura (mm)	1,99 ± 0,02
Espessura(mm)	0,98 ± 0,03
Massa específica real (g/cm³)	0,873 ± 0,103
Massa específica aparente (g/cm³)	0,599 ± 0,001
Porosidade (%)	31,34 ± 0,00
Circularidade (%)	64,51 ± 1,26
Esfericidade (%)	64,43 ± 1,67
Diâmetro geométrico (mm)	1,99 ± 0,07
Área superficial (mm²)	12,44 ± 0,90
Volume (mm³)	4,13 ± 0,45
Ângulo de repouso dinâmico (°)	15 ± 0,00
Massa de mil sementes (g)	3,57 ± 0,002

Os resultados encontrados para as medidas de comprimento, largura e espessura das sementes de gergelim, foram semelhantes aos resultados reportados por Silva et al. (2014a) para a mesma cultivar BRS Seda, com valores iguais a 3,04, 1,86 e 0,92mm, respectivamente; essas pequenas variações podem estar associadas as condições edafoclimáticas predominantes durante o cultivo do gergelim.

A massa específica real obtida de 0,873 g/cm³, foi similar ao resultado descrito por Bezerra & Costa (2014) ao realizarem o estudo sobre a hidrodinâmica da fluidização de sementes de gergelim em leito fluidizado, que foi de 0,8666g/cm³, entretanto, observa-se uma discrepância quanto ao resultado da massa específica aparente obtida neste estudo de

0,599 g/cm³, em comparação ao valor obtido pelos autores citados anteriormente, igual a 0,8091 g/cm³. De acordo com Firmino et al. (2010) a massa específica real tende a ser maior que a massa específica aparente, visto que a massa específica aparente leva em consideração os espaços intergranulares existentes na massa da semente, ocorrendo consequentemente diminuição da massa específica.

O valor da porosidade das sementes de 31,34%, foi inferior ao resultado reportado por Tunde-Akintunde e Akintunde (2007) que obtiveram o valor de 36,0% para o gergelim com teor de água em torno de 5%. Ainda, de acordo com os autores a porosidade é inversamente proporcional ao teor de água, o aumento do teor de água promove um aumento do volume do grão, reduzindo os espaços intergranulares.

No caso da circularidade e da esfericidade, verificou-se que os resultados obtidos foram semelhantes, com valores de 64,51 e 64,43%, respectivamente, a caracterização destes parâmetros tem como finalidade indicar o quanto a semente de gergelim se aproxima de uma esfera. Observa-se ainda, que a esfericidade determinada da semente de gergelim, foi superior ao encontrado por Silva et al. (2014a), de 57,05% para a cultivar BRS Seda e inferior ao valor reportado pelos mesmos autores para a cultivar IAC China, de 65,34%.

Os resultados encontrados para os parâmetros diâmetro geométrico, área superficial e volume, foram de 1,99, 12,44 e 4,13, respectivamente; superiores aos valores reportados por Khazaei & Mohammadi (2009) que foram de 16,7, 8,77 e 2,47 e Tunde-Akintunde & Akintunde (2007), ao reportarem valores de 1,8, 10,2 e 2,7. Essa discrepância entre os valores pode ser atribuída as diferentes características intrínsecas ao tipo de cultivar de gergelim.

O ângulo de repouso dinâmico determinado para a semente de gergelim, de 15°, respectivamente, foi inferior ao valor obtido por Tunde-Akintunde & Akintunde (2007), que foi de 16,5° para o gergelim com teor de água de 5,0%; e muito divergente ao valor de 35,9° reportado por Bezerra & Costa (2014) ao determinarem o ângulo de repouso do gergelim através do método do tambor rotativo. Segundo Park et al. (2007) quanto mais esférico for o grão menor será o seu ângulo. Considerando o ângulo de repouso obtido neste estudo, verifica-se conforme a classificação da escoabilidade descrita por Jong; Hoffmann; Finkers (1999) que a semente de gergelim encontra-se situada entre a faixa de 10 a 30°, no qual é classificada pelos autores com o grau de escoabilidade de excelente fluidez.

O valor obtido para a massa de mil sementes de 3,57 g, atende as exigências do mercado por apresentar valor superior a 3 g, conforme descrito por Queiroga & Silva (2008). Esse valor foi superior ao resultado de 3,4 g, obtido por Queiroga et al. (2010) e inferior ao reportado por Silva et al. (2014a) de 3,8 g, ao trabalharem com a mesma cultivar. De acordo com Beltrão & Vieira (2001) o peso de 1.000 sementes pode ser influenciado pela proporção do teor de óleo do cultivar de gergelim em estudo e a sua massa.

I.4.2 - Cinética de secagem

Na Tabela I.4.2, encontram-se os valores estatísticos dos coeficientes de determinação (R^2), desvio padrão da estimativa (SE), erro médio relativo (P) e a tendência da distribuição de resíduos (RES) para os modelos analisados para a cinética de secagem das sementes de gergelim nas temperaturas de 30, 35, 40 e 45 °C.

O parâmetro **k**, que, de acordo com Goneli et al. (2009), representa o efeito das condições externas de secagem, conforme previsto este parâmetro sofreu uma elevação em função do aumento da temperatura de secagem das sementes de gergelim, este comportamento foi verificado para os modelos de Page, Henderson & Pabis, Lewis, Cavalcanti Mata e Midilli, utilizados na predição do processo de secagem estudado. Resultados semelhantes foram obtidos em diversos estudos da cinética de secagem de vários produtos agrícolas: pimenta Cumari do Pará (Reis et al., 2011), sementes de linhaça (Valente et al., 2012), pimenta de bode (Rodvalho et al., 2015).

Com relação ao coeficiente **n**, que reflete a resistência interna do produto a secagem, verifica-se para o modelo de Page que não houve um comportamento específico, oscilando os valores com a variação da temperatura de secagem. Resende et al. (2011) ao realizarem a cinética de secagem das sementes de pinhão manso, também não observaram uma tendência definida para este coeficiente com a elevação da temperatura. De modo geral, no modelo de Midilli, foi observada uma tendência de redução deste coeficiente com a elevação da temperatura; já para o parâmetro **a** deste modelo não se observou uma tendência definida.

Analisando o parâmetro **a** do modelo de Thompson, percebe-se que os valores obtidos foram negativos, aumentando em função do acréscimo da temperatura, o parâmetro **b** não apresentou um comportamento específico.

Tabela I.4.2 – Parâmetros dos modelos analisados, coeficientes de determinação (R^2), desvio padrão da estimativa (SE), erro médio relativo (P) e a tendência da distribuição de resíduos (RES) da cinética de secagem das sementes de gergelim para as diferentes temperaturas.

Modelos		Parâmetros					R^2	SE	P	Res	
Page	n						k				
30 °C	1,0009						0,0277	99,65	0,0203	30,92	AL
35 °C	1,0933						0,0298	99,66	0,0199	34,88	TD
40 °C	0,9277						0,0587	99,74	0,0159	26,71	AL
45 °C	0,9656						0,0628	99,78	0,0141	33,36	AL
Henderson & Pabis	a						k	R^2	SE	P	Res
30 °C	1,0106						0,0282	99,66	0,0198	29,18	AL
35 °C	1,0232						0,0362	99,59	0,0216	27,99	TD
40 °C	0,9889						0,0463	99,66	0,0180	32,58	AL
45 °C	0,9949						0,0564	99,76	0,0146	35,08	AL
Lewis						k	R^2	SE	P	Res	
30 °C						0,0278	99,65	0,0197	29,75	TD	
35 °C						0,0352	99,54	0,0222	30,06	TD	
40 °C						0,0470	99,65	0,0178	33,81	AL	
45 °C						0,0568	99,76	0,0142	35,21	AL	
Cavalcanti Mata	a₁	k₁	n₁	a₂	n₂	a₃	R^2	SE	P	Res	
30 °C	0,3514	0,0287	0,6022	0,8428	1,2621	-0,2337	99,74	0,0186	9,59	AL	
35 °C	0,7992	0,0377	0,8049	1,7364	0,9255	-2,0572	99,87	0,0128	9,92	AL	
40 °C	0,1693	0,0481	2,3452	1,6087	0,7812	-0,6510	99,80	0,0147	10,00	AL	
45 °C	0,4097	0,0572	1,5571	1,2625	0,7036	-0,7610	99,86	0,0120	8,82	AL	
Thompson	a		b			R^2	SE	P	Res		
30 °C	-142,71		2,0226			99,67	0,0195	26,98	TD		
35 °C	-112,42		2,0480			99,59	0,0216	22,44	TD		
40 °C	-84,71		1,9801			99,68	0,0175	36,33	AL		
45 °C	-69,88		1,9924			99,78	0,0142	34,29	AL		
Midilli	a	k	n	b		R^2	SE	P	Res		
30 °C	1,0043	0,0265	1,0899	0,0218		99,66	0,194	14,76	TD		
35 °C	1,0147	0,0295	0,9898	0,0195		99,71	0,0207	22,71	TD		
40 °C	1,0067	0,0602	0,9219	0,0167		99,74	0,0163	11,38	AL		
45 °C	1,0022	0,0632	0,9644	0,0148		99,78	0,0144	13,25	AL		

Para todas as temperaturas utilizadas na secagem das sementes de gergelim, constata-se que os modelos aplicados na predição dos dados experimentais apresentaram coeficientes de determinação (R^2) superiores a 99,5%, os resultados indicam uma representação satisfatória dos modelos ao processo de secagem estudado. Contudo, o uso do coeficiente de determinação como único critério não é um bom parâmetro para a seleção de modelos matemáticos não lineares para representar o processo de secagem tornando-se necessária a análise conjunta de outros parâmetros estatísticos (MADAMBA et al., 1996).

Quanto ao parâmetro desvio padrão da estimativa (SE), verifica-se que os modelos de Page, Cavalcanti Mata e Midilli, obtiveram os menores valores de SE para as temperaturas de secagem estudadas. De acordo com Siqueira et al. (2012) quanto menores os valores de SE melhor o ajuste do modelo aos dados observados.

Dentre os modelos analisados, apenas Cavalcanti Mata obteve erro médio relativo (P) inferior a 10% para as temperaturas de secagem avaliadas, indicando um ajuste satisfatório ao processo de secagem. Segundo Mohapatra & Rao (2005), modelos que apresentam valores de erro médio relativo superior a 10% são inadequados para representar o processo de secagem. Baseado neste parâmetro, constata-se que os demais modelos não representaram satisfatoriamente o processo de secagem, por apresentarem valores do erro médio relativo (P) superiores a 10%.

Com relação à distribuição dos resíduos, verifica-se que os modelos de Page e Henderson & Pabis tiveram uma distribuição aleatória para as temperaturas de 30, 40 e 45 °C, apenas o modelo de Cavalcanti Mata apresentou uma distribuição aleatória para todas as temperaturas estudadas. Rodovalho et al. (2015) ao estudar a cinética de secagem dos grãos da pimenta de bode, também verificaram que o modelo de Cavalcanti foi o único a apresentar a distribuição aleatória para todas as condições de secagem avaliadas. De acordo com Goneli (2008) um modelo é considerado aceitável se a distribuição dos resíduos for aleatória, ou seja, se os valores dos resíduos se encontrarem próximos à faixa horizontal em torno de zero e, caso o modelo apresente distribuição dos resíduos de forma tendenciosa, o mesmo é classificado como inadequado para representar o fenômeno.

Baseado nos parâmetros estatísticos analisados, pode-se observar que as equações de Page e Cavalcanti Mata representaram de forma satisfatória os dados experimentais, porém a equação de Cavalcanti Mata apresentou uma melhor predição, constatada através das menores magnitudes obtidas para o desvio padrão da estimativa (SE) e o erro médio

relativo (P), além da distribuição de resíduos que ocorreu de forma aleatória para todas as condições de secagem estudadas, podendo ser recomendada para a representação da cinética de secagem das sementes de gergelim. O modelo de Cavalcanti Mata também foi recomendado em estudos realizados por: Rodovalho et al. (2015) ao estudarem a cinética de secagem dos grãos da pimenta de bode, Silva et al. (2012), ao estudarem a cinética de secagem para os grãos de algaroba e Gouveia et al. (2011) ao avaliarem a cinética de secagem do feijão preto.

Nas Figuras I.4.1 a I.4.6, têm-se as representações gráficas do comportamento adimensional da razão do teor de água em função do tempo de secagem das sementes de gergelim para as temperaturas de 30, 35, 40 e 45 °C, bem como os valores estimados para a secagem através dos modelos matemáticos de Page, Henderson & Pabis, Lewis, Cavalcanti Mata, Thompson e Midilli, respectivamente.

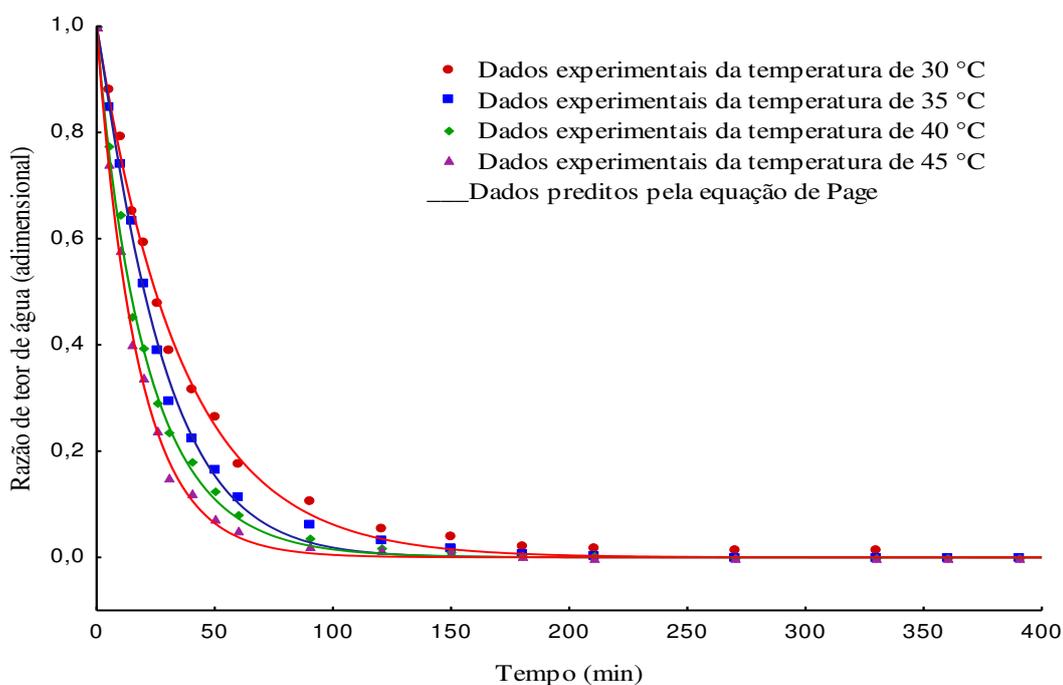


Figura I.4.1 - Curvas da cinética de secagem da semente de gergelim com ajuste dos dados experimentais pela equação matemática de Page, obtidas por regressão não linear às temperaturas de 30, 35, 40 e 45 °C.

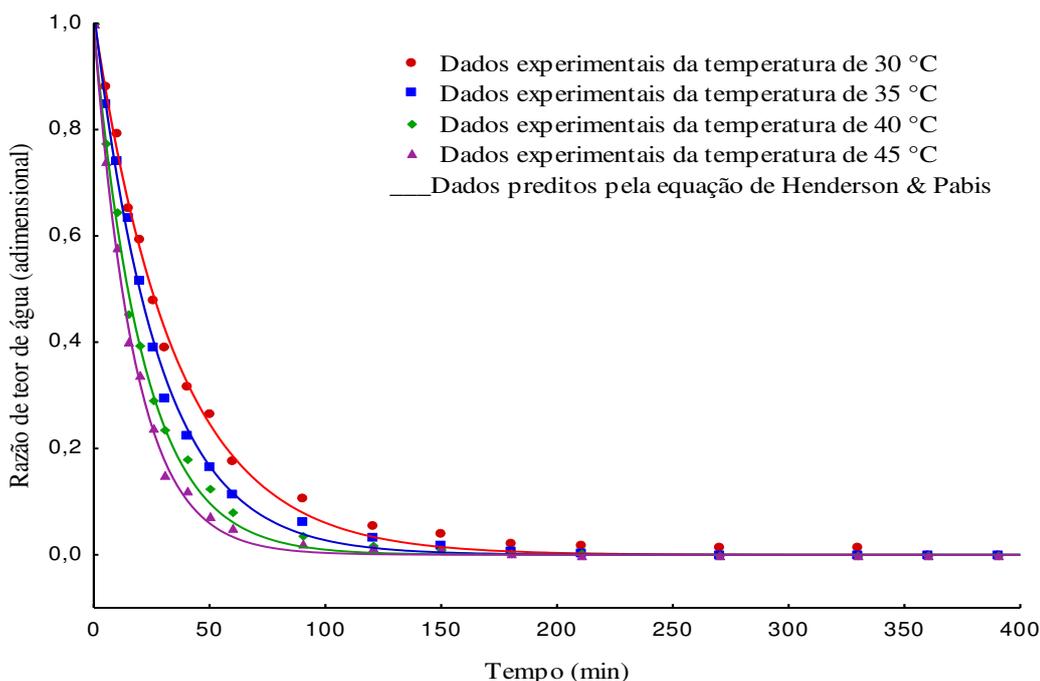


Figura I.4.2 - Curvas da cinética de secagem da semente de gergelim com ajuste dos dados experimentais pela equação matemática de Henderson & Pabis, obtidas por regressão não linear às temperaturas de 30, 35, 40 e 45 °C.

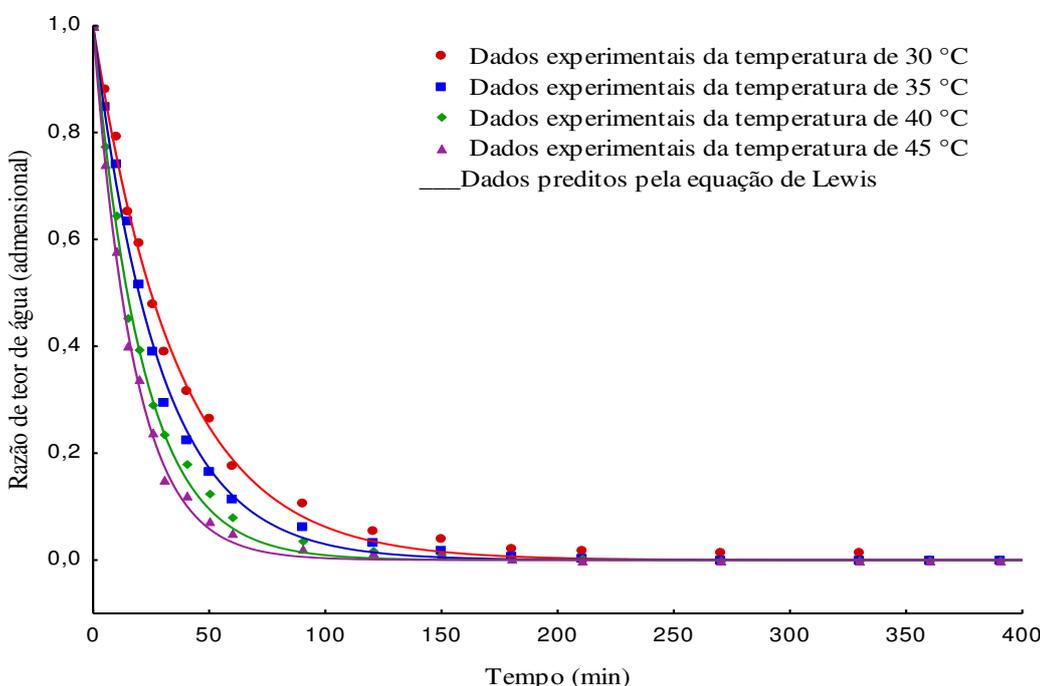


Figura I.4.3 - Curvas da cinética de secagem da semente de gergelim com ajuste dos dados experimentais pela equação matemática de Lewis, obtidas por regressão não linear às temperaturas de 30, 35, 40 e 45 °C.

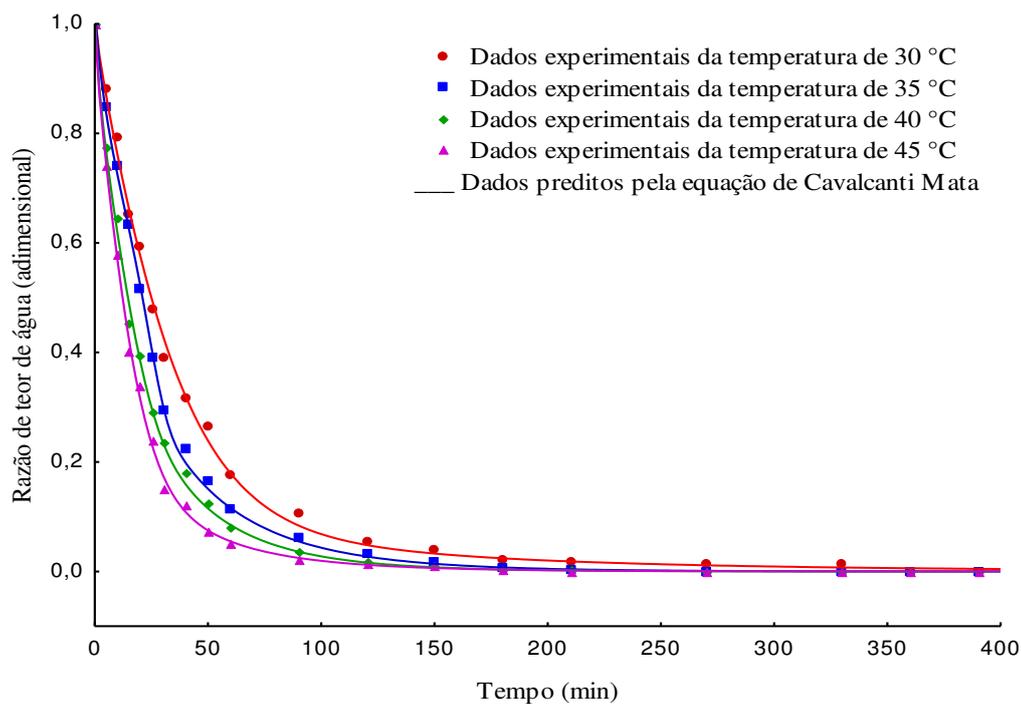


Figura I.4.4 - Curvas da cinética de secagem da semente de gergelim com ajuste dos dados experimentais pela equação matemática de Cavalcanti Mata, obtidas por regressão não linear às temperaturas de 30, 35, 40 e 45 °C.

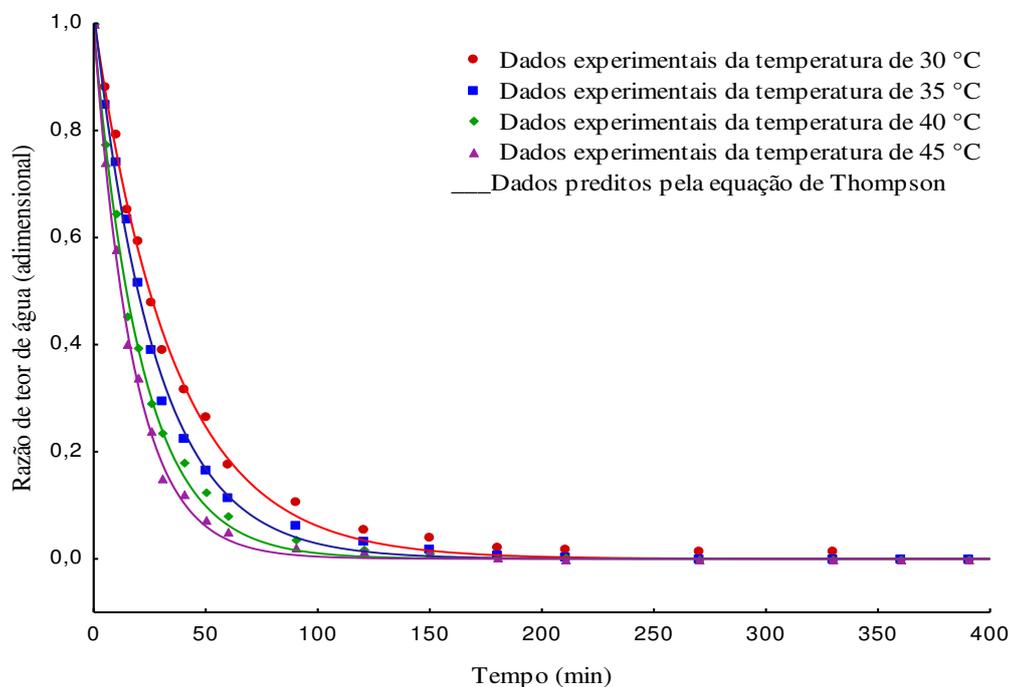


Figura I.4.5 - Curvas da cinética de secagem da semente de gergelim com ajuste dos dados experimentais pela equação matemática de Thompson, obtidas por regressão não linear às temperaturas de 30, 35, 40 e 45 °C.

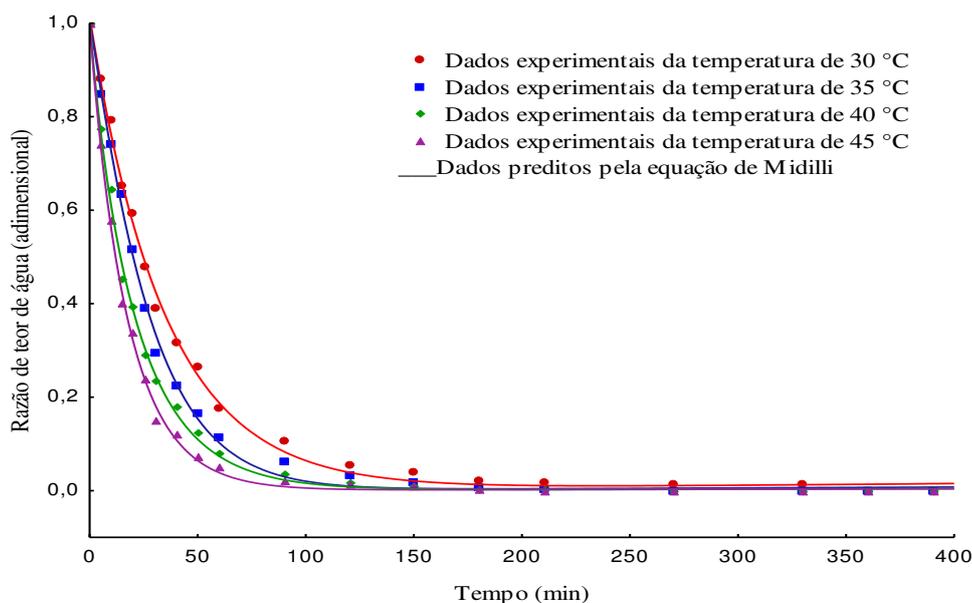


Figura I.4.6 - Curvas da cinética de secagem da semente de gergelim com ajuste dos dados experimentais pela equação matemática de Midilli, obtidas por regressão não linear às temperaturas de 30, 35, 40 e 45 °C.

Analisando as Figuras, verifica-se que em todas as temperaturas avaliadas, a razão de teor de água reduziu rapidamente no início e, posteriormente, diminuiu lentamente à medida que se aumentava o tempo de secagem. Segundo Kashaninejad et al. (2007), este fato ocorre devido a maior resistência a transferência de calor e massa do interior do produto para sua superfície, tornando o processo de secagem mais lento em função do tempo. O tempo de secagem requerido para reduzir o teor de água inicial em torno de 16% (b.u.) até o equilíbrio das sementes de gergelim foi de 390, 360, 330 e 270 min, para as temperaturas de 30, 35, 40 e 45 °C, respectivamente.

Constata-se ainda, que o aumento da temperatura do ar de secagem, promoveu uma maior taxa de remoção de água, reduzindo o tempo de secagem das sementes de gergelim, sendo mais significativo na temperatura de 45 °C. Por outro lado, quando se utilizou a temperatura do ar de secagem de 30 °C, verificou-se um tempo demasiado longo, isto se deve ao fato da temperatura de secagem adotada ser próxima à temperatura ambiente, o que dificultou o processo de remoção de água das sementes. Conforme previsto, o tempo de secagem foi reduzido com a elevação da temperatura do ar, estando em concordância com diversos estudos realizados para inúmeros produtos agrícolas: grãos de soja (OLIVEIRA et al., 2015), grãos de milho (SANTOS et al., 2014), sementes de linhaça (VALENTE et al., 2012), feijão macassar (CAVALCANTI et al., 2012).

Por meio das Figuras, observa-se que as curvas da cinética de secagem geradas pela equação de Cavalcanti Mata apresentaram maior concordância com os resultados observados que os demais modelos avaliados, reforçando a aplicabilidade deste modelo na predição da cinética de secagem das sementes de gergelim.

Na Tabela I.4.3 são apresentados os valores dos coeficientes de difusão efetivo, os coeficientes de determinação (R^2) e desvio padrão da estimativa (SE), obtidos por meio do ajuste do modelo de Fick, aos dados experimentais obtidos na secagem da sementes de gergelim nas temperaturas de 30, 35, 40 e 45°C.

Tabela I.4.3 - Coeficientes de difusão da equação de Fick para a cinética de secagem da semente de gergelim nas temperaturas de 30, 35, 40 e 45°C

Temperatura (°C)	D_{ef} ($m^2.s^{-1}$)	R^2 (%)	SE
30	$1,33 \times 10^{-10}$	98,49	0,054
35	$1,74 \times 10^{-10}$	96,49	0,058
40	$2,36 \times 10^{-10}$	99,21	0,036
45	$2,91 \times 10^{-10}$	98,49	0,034

Analisando os resultados, percebe-se que o coeficiente de difusividade efetiva (D_{ef}) da secagem das sementes de gergelim, estimado pelo modelo Fick, apresenta um comportamento crescente com a elevação da temperatura. Comportamento similar foi relatado por diversos autores, Silva et al. (2014b) ao analisarem os modelos de predição da cinética de secagem dos grãos de guandu, por Oliveira et al. (2012) ao estudarem a cinética de secagem dos grãos de milho, Valente et al. (2012) ao realizarem a cinética de secagem da linhaça.

Os valores do coeficiente de difusividade efetiva obtidos nesta pesquisa variaram entre $1,33 \times 10^{-10}$ e $2,91 \times 10^{-10} m^2.s^{-1}$, para o intervalo de temperatura de 30 a 45 °C. Os valores do coeficiente de difusividade das sementes de gergelim estão coerentes, pois de acordo com Madamba (2003) os coeficientes de difusividade dos produtos agrícolas encontram-se na faixa de 10^{-9} a $10^{-11} m^2 s^{-1}$.

Observa-se ainda, que os coeficientes de determinação (R^2), obtidos com o ajuste da equação de Fick apresentaram valores superiores a 96% e desvios padrão da estimativa

(SE) inferiores a 0,058, tal fato indica um ajuste satisfatório da equação proposta por Fick aos dados experimentais.

Na Figura I.4.7 têm-se os valores do coeficiente de difusividade obtidos após o processo de secagem das sementes de gergelim para diferentes condições de temperatura. Pode-se observar que o modelo representou de forma satisfatória os dados experimentais, apresentando o coeficiente de determinação superior a 99%.

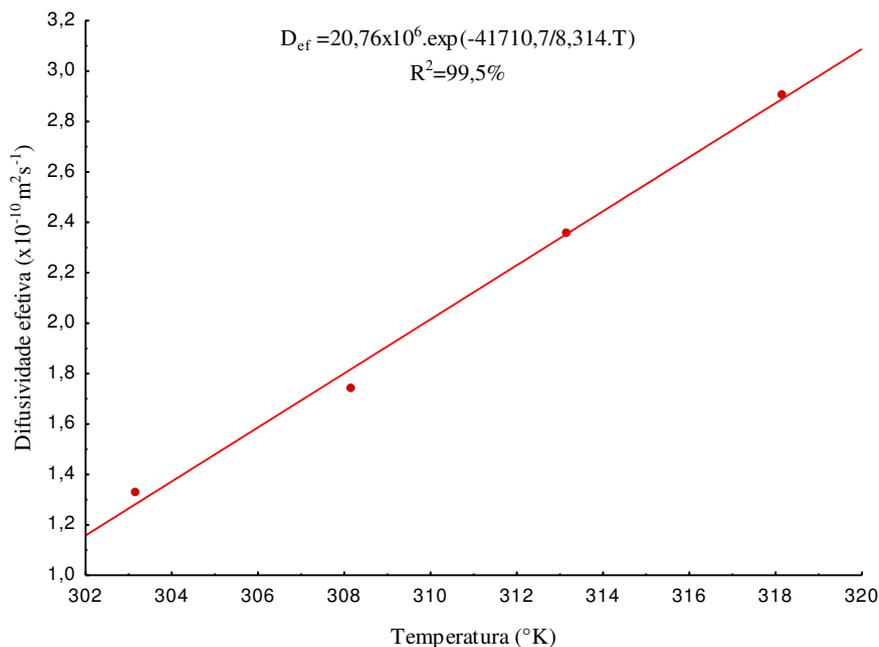


Figura I.4.7 - Difusividade efetiva da semente de gergelim, em função da temperatura do ar de secagem.

A energia de ativação (E_a) obtida para o modelo da difusão líquida das sementes de gergelim, foi de $41,7 \text{ kJ mol}^{-1}$. O valor da energia de ativação determinado neste estudo, encontra-se na faixa dos valores descritos por Zogzas et al. (1996) para diversos produtos agrícolas, que variam de $12,7$ a 110 kJ mol^{-1} . Segundo Correia et al. (2007), a energia de ativação é a facilidade com que as moléculas de água superam a barreira de energia durante a migração no interior do produto, quanto menor a energia de ativação, maior será a difusividade de água do produto no processo de secagem.

O valor da energia de ativação obtido para as sementes de gergelim foi semelhante ao obtido por Goneli et al. (2007) ao estudarem a secagem dos grãos de trigo que foi de $42,0 \text{ kJ mol}^{-1}$.

Na Figura I.4.8 têm-se a relação entre os valores de $\ln(D_{ef})$ em função do inverso da temperatura absoluta ($1/T$) durante a secagem das sementes de gergelim, representado através da equação de Arrhenius. A reta obtida indica a uniformidade de variação da difusividade em função da variação da temperatura. Este comportamento também foi observado em estudos realizados para a semente de mamona (GONELI, 2008), sementes de cambre (COSTA et al., 2011), pimenta de bode (RODOVALHO et al., 2015).

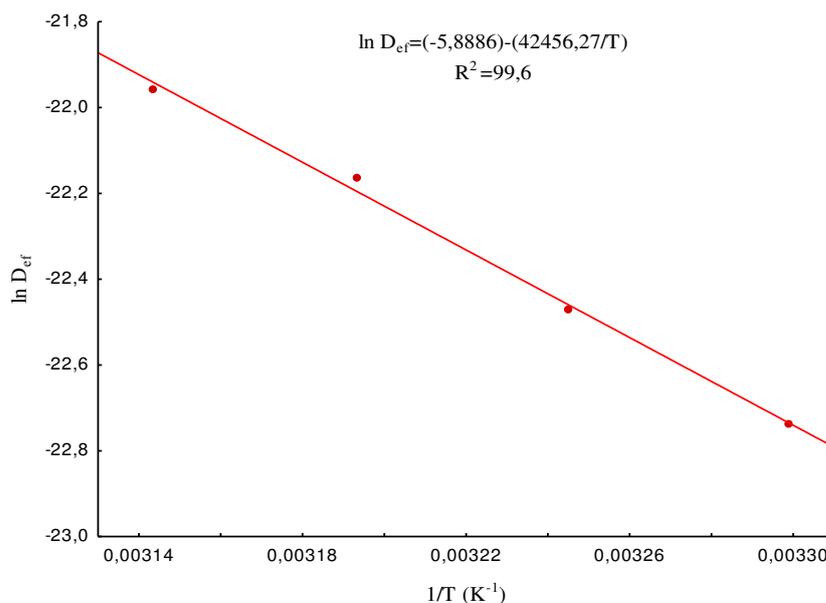


Figura I.4.8 - Representação do modelo de Arrhenius para o coeficiente de difusão efetivo em função da temperatura absoluta do ar de secagem (T_a) durante a secagem das sementes de gergelim

As propriedades termodinâmicas (entalpia específica (Δh), entropia específica (Δs) e energia livre de Gibbs (ΔG) obtidas na cinética de secagem das sementes de gergelim para diferentes temperaturas são descritas na Tabela I.4.4.

Tabela I.4.4 - Propriedades termodinâmicas do processo de secagem das sementes de gergelim: entalpia específica (Δh), entropia específica (Δs) e energia livre de Gibbs (ΔG)

Temperatura (°C)	ΔH (J mol ⁻¹)	ΔS (J mol ⁻¹)	ΔG (J mol ⁻¹)
30	39189,97	-104,97	71010,91
35	39148,40	-105,10	71536,09
40	39106,83	-105,24	72061,95
45	39065,26	-105,37	72588,46

Analisando os resultados da Tabela I.4.4, verifica-se que os valores da entalpia reduziram com a elevação da temperatura do ar de secagem. De acordo com Oliveira et al. (2010), este comportamento indica que é necessária uma quantidade menor de energia para remover a água ligada ao produto durante a secagem.

Com relação aos valores da entropia, observa-se que houve uma redução desta propriedade termodinâmica com o aumento da temperatura. Este fenômeno era esperado, pois de acordo com Jideani e Mpotokwana (2009), a entropia tende a diminuir com o aumento de temperatura, uma vez que a diminuição da temperatura acarreta em menor excitação das moléculas de água e aumenta o grau de ordem entre o sistema água e grão.

Contrariamente ao comportamento observado para a entalpia e entropia, nota-se que a energia livre de Gibbs sofreu um aumento (71010,91; 71536,09; 72061,95 e 72588,46 J mol⁻¹) com a elevação da temperatura do ar de secagem (30, 35, 40 e 45 °C), respectivamente. Observa-se ainda, que os valores positivos da energia de livre de Gibbs obtidos neste estudo, indicam que o processo de secagem das sementes de gergelim não pode ser considerado espontâneo. Segundo Corrêa et al., (2010) os valores positivos da energia livre de Gibbs são característicos de uma reação endergônica, isto é, requerem adição de energia proveniente do meio em que se encontra o produto para que haja a reação.

I.5 - CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos nesta pesquisa, pode-se concluir que:

- O ângulo de repouso dinâmico da semente de gergelim BRS Seda foi de 15°, pode-se afirmar que esta cultivar apresenta uma boa escoabilidade;
- A massa de mil sementes de gergelim, foi superior a 3 gramas, atendendo satisfatoriamente aos padrões exigidos pelo mercado;
- O aumento da temperatura do ar de secagem, promoveu uma maior taxa de remoção de água, reduzindo o tempo de secagem da semente de gergelim.
- O modelo matemático proposto por Cavalcanti Mata apresentou a melhor predição ao processo de cinética de secagem da semente de gergelim, obtendo coeficiente de determinação (R^2) superior a 99%, erro relativo médio (P) inferior a 10% e desvio da estimativa (SE) inferior a 0,0186, para todas as condições de temperaturas avaliadas.
- O coeficiente de difusão efetivo determinado para as sementes de gergelim variou entre $1,33 \times 10^{-10}$ e $2,91 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, ocorrendo esse aumento em função da elevação da temperatura do ar de secagem de 30 para 45 °C.
- Através da equação de Arrhenius, obteve-se a energia de ativação para difusão líquida durante a secagem, de 41,7 kJ mol⁻¹ para as sementes de gergelim.
- O aumento da temperatura promoveu a elevação da energia livre de Gibbs e a redução dos parâmetros de entalpia e entropia durante o processo de secagem da semente de gergelim.

I.6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, E. T. DE; CORREA, P. C.; TEIXEIRA, L. P.; PEREIRA, R. G.; CALOMENI, J. DE F. Cinética de secagem e qualidade de sementes de feijão. **Engevista**, v. 8, n. 2, p. 83-95, 2006.

AQUINO, L. P.; FERRUA, F. Q.; BORGES, S. V.; ANTONIASSI, R. ; CORREA, J. L. G.; CIRILLO, M. A. Influence of pequi drying (*Caryocar brasiliense* Camb.) on the quality of the oil extracted. **Ciência Tecnologia Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 2, p. 354-357, 2009.

ARRIEL, N. H.; BELTRÃO, N. E. DE M.; FIRMINO, P. DE T. **Gergelim : o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília - DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 209 p. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

ARRIEL, N. H. C.; VIEIRA, D. J.; FIRMINO, P. T. **Situação atual e perspectivas da cultura do gergelim no Brasil**. Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas para o Nordeste Brasileiro, 2006.

BELTRAO, N. E. de M.; Prefácio. In: QUEIROGA, V de P.; ARRIEL, N. H. C.; SILVA, O. R. R. F. da; **Tecnologias para o agronegócio do gergelim**. Editores técnicos, Embrapa Algodão (Campina Grande, PB). ed. 2010. 264p.

BELTRÃO, N. E. de M.; VIEIRA, D. J.(Ed.). **O agronegócio do gergelim no Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2001, p. 247-284.

BENEDETTI, B. C. **Influência do teor de água sobre propriedades físicas de vários grãos**. 1987.125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). UNICAMP, Campinas-SP.

BENEDETTI, P. C. D. **Caqui em pó: Influência de aditivos e do método de secagem**.

2010. 129 p. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto - SP.

BEZERRA, R. S.; COSTA, C. M. L. **Hidrodinâmica da fluidização de sementes de gergelim em leite fluidizado**. 14º Congresso Nacional de Iniciação Científica – Conic, Novembro/ 2014, São Paulo-SP. Disponível em: <<http://conic-semesp.org.br/anais/files/2014/trabalho-1000017925.pdf>> Acesso em: 12 de abril 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes** / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília : Mapa/ACS, 2009, 398p.

BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. Westport: The AVI Publishing Company, 1992. 450 p.

CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. **Efeitos da secagem em altas temperaturas por curtos períodos de tempo, em camada estacionária, sobre a armazenabilidade de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), variedade carioca: Avaliação experimental modelagem e simulação**. 1997 (Tese de Doutorado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP.

CAVALCANTI, M. E. R. R. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; ALMEIDA, R. D.; PAULO, F. F. Secagem de sementes de feijão macassar destinadas a crioconservação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.13, n. Especial, p.511-524, 2012.

CORRÊA, P. C.; OLIVEIRA, G. H. H.; BOTELHO, F. M.; GONELI, A. L. D.; CARVALHO, F. M. Modelagem matemática e determinação das propriedades termodinâmicas do café (*Coffea arabica* L.) durante o processo de secagem. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n.5, p. 595-601, 2010.

EMBRAPA. **Gergelim - Apresentação do Produto**. 2000. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/produtos/gergelim>> Acesso em: 10 de maio de 2015.

ERTEKIN, C.; YALDIZ, O. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. **Journal of Food Engineering**, London, v.63, n.3, p.349-59, 2004.

FEMENIA, A.; SASTRE-SERRANO, G.; SIMAL, S.; GARAU, M. C.; EIM, V. S.; ROSSELLO, C. Effects of air-drying temperature on the cell walls of kiwifruit processed at different stages of ripening. **LWT – Food Science and Technology**, v. 42, n. 1, p. 106-112, 2009.

FIGUEIREDO, R. **Princípios de secagem de produtos biológicos**. João Pessoa: Editora universitária - UFPB, 2004. 229 p.

FIRMINO, P. T.; WANDERLEY JÚNIOR, J. S. A.; SILVA, A. C.; SANTOS, D. C.; SANTOS, F. N. Determinação das propriedades físicas de sementes de pinhão manso. In. IV Congresso Brasileiro de Mamona & I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas. 2010. João Pessoa – PB. Inclusão Social e Energia: **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão. p. 2025-2030, 2010.

FORTES, M.; OKOS, M. Drying theories: their bases and limitations as applied to foods and grains. In: **Advances in drying**, ed. Arum S. Mujundar, Hemisphere Publishing Corporation. Washington, v. 1, p. 119-154, 1980.

GUEDES, A. M. M.; FARIA, L. J. G. Determinação da constante de secagem de urucum (*Bixa orellana* L.) em secador convectivo de leito fixo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p. 73-86, 2000.

GOUVEIA, D. S.; UGULINO, S. M. P.; DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. Cinética de feijão preto (*Phaseolus vulgaris*, L.) em secador de bandeja. *Revista Holos*, Mossoró, v. 1, n. 1, p. 38-48, 2011.

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

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; REIS NETO, S. A. Estudo da difusão de umidade em grãos de trigo durante a secagem. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 1, p. 135-140, 2007.

HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory I. Temperature effect on drying coefficient. **Journal of Agriculture Engineering Research**, v.6, n.3, p.169-174, 1961.

JONG, J. A. H.; HOFFMANN, A. C.; FINKERS, H. J. Properly determine powder flowability to maximize plant output. **Chemical Engineering Progress**, v. 95, n. 4, p. 25-34, 1999.

KASHANINEJAD, M.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI, A.; TABIL, L.G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, v.78, 98-108p, 2007.

KHAZAEI, J.; MOHAMMADI, N. Effect of temperature on hydration kinetics of sesame seeds (*Sesamum indicum*L.). **Journal of Food Engineering**, v.91, p.542-552, 2009.

KOURI, J.; ARRIEL, N.H.C. Aspectos econômicos. In: ARRIEL, N.H.C.; BELTRÃO, N.E. de M.; FIRMINO P. de T. (Ed.). **Gergelim: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2009. p.193-209. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

LEWIS, W. K. The rate of drying of solids materials. **The Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v.13, n.5, p.427-432, 1921.

MADAMBA, P. S.; Driscoll, R. H.; Buckle, K. A. The Thin-layer Drying Characteristics of Garlic Slices. **Journal of Food Engineering**, v.29, p.75-97, 1996. MADAMBA, P. S. Thin layer drying models for osmotically pré-dried young coconut. **Drying technology**, v.21, n.9, p.1759-1780, 2003.

MAHAYOTHEE, B.; UDOMKUN, P.; NAGLE, M.; HAEWSUNGCHAROEN, M.; JANJAI, S.; MUELLER, J. Effects of pretreatments on colour alterations of litchi during drying and storage. **European Food Research Technology**, v. 229, n. 2, p. 329-337, 2009.

MAZZANI, H.; LAYRISSE, H. Características químicas del grano de cultivares de ajonjolí seleccionados de la colección venezolana de germoplasma. **Agronomía Tropical**, Maracay (Venezuela), v. 48, n. 1, p. 5-18. 1998.

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

OLIVEIRA, D. E. C. DE.; RESENDE, O.; SMANIOTTO, T. A. DE S.; CAMPOS, R. C.; CHAVES, T. H. Cinética de secagem dos grãos de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.11, n.2, p. 190-201, 2012.

OLIVEIRA, D. E. C. DE; RESENDE, O.; BESSA, J. F. V.; KESTER, A. N.; SMANIOTTO, T. A. S. Mathematical modeling and thermodynamic properties for drying soybean grains. **African Journal of Agricultural Research**, vol.10, n. 1, p. 31-38, 2015.

OLIVEIRA, D. M.; FIRMINO, P. DE T.; MARQUES, D. R., KWIATKOVSKI, A., GIRIBONI, A. R. M.; SILVA, A. C.; SOUSA, J. DOS S. Caracterização físico-química dos co-produtos (óleo e torta) do gergelim cv. CNPA-G4 Physico-chemical characterization of co-products (oil and cake) of sesame cv, CNPAG4. **Revista Tecnológica**, Edição Especial V Simpósio de Engenharia, Ciência e Tecnologia de Alimentos, p. 37-42, 2011.

PAGE, G. E. **Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers**. Indiana: Purdue University, 1949.

PANCHARIYA, P. C.; POPOVIC, D.; SHARMA, A. L. Thin-layer modeling of black tea drying process. **Journal of Food Engineering**, Londres, v. 52, n. 4, p. 349-357, 2002.

PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J. B. **Conceitos de Processo e Equipamentos de Secagem**. Campinas, 2007. Disponível em: <http://www.feagri.unicamp.br/ctea/projpesq.html>. Acesso em: 20 de maio de 2015.

PARK, K. J.; TUBONI, C. T.; OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J. B. Estudo da secagem de caqui giombo com encolhimento e sem encolhimento. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p.71-86, 2004.

PARK, K. J.; VOHNIKOVA, Z.; BROD, F. P. R. Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispa* L.). **Journal of Food Engineering**, Londres, v. 51, n. 3, p. 193-199, 2002.

PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. Estudo de secagem de pêra bartlett (*Pyrus* sp.) em fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 3, p. 288-292, 2001.

PESSOA, T.; GALDINO, P. O.; GURJÃO, G. C.; GURJÃO, F. F.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. Secagem convectiva de grãos de sorgo em camada fina por secador de leito fixo. **Revista Verde**, Mossoró, v.6, n.1, p. 247 - 255 jan.-mar, 2011.

PRADO, M. M. **Secagem em leito fixo de sementes com mucilagem**. 2004. 162 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

QUEIROGA, V. P; SILVA, O. R. R. F. **Tecnologias utilizadas no cultivo do gergelim mecanizado**. EMBRAPA-CNPQ, Campina Grande. 2008. 142p.

QUEIROGA, V. de P.; GONDIM, T. M. de S.; QUEIROGA, D. A. N. Tecnologias sobre operações de semeadura e colheita para a cultura do gergelim (*Sesamum indicum* L.). **Revista Agroambiente On-line**, v. 3, n. 2. p. 106-121, jul-dez. 2009.

QUEIROGA, V. DE P.; BORBA, F. G.; ALMEIDA, K. V. DE; SOUSA, W. J. B. DE; JERÔNIMO, J. F.; QUEIROGA, D. A. N. Qualidade fisiológica e composição química das sementes de gergelim com distintas cores. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 4, n. 1, p. 27-33, jan-jun, 2010.

REIS, R. C.; BARBOSA, L. S.; LIMA, M. DE L.; REIS, J. DE S.; DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P. R. Modelagem matemática da secagem da pimenta Cumari do Pará. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.4, p.347–353, 2011.

RESENDE, O.; ULLMANN, R.; SIQUEIRA, V. C.; CHAVES, T. H.; FERREIRA, L. U. Modelagem matemática e difusividade efetiva das sementes de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) durante a secagem. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, vol.31, n.6, pp.1123-1135, 2011.

RIBEIRO, V. S.; SOBRAL, M. C.; SILVA, G. F. Propriedades físicas de produtos agrícolas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.1, p.1-6, 2002.

ROCA, E.; GUILLARD, V.; BROYART, B.; GUILBERT, S.; GONTARD, N. Effective moisture diffusivity modeling food structure and hygroscopicity. **Food Chemistry**, v.106, p.1428–1437, 2008.

RODOVALHO, R. S.; SILVA, H. W.; SILVA, I. L.; ROSSETTO, C. A. V. Cinética de secagem dos grãos de pimenta bode. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 08, n. 02 , p. 128-142, maio/ago. 2015.

SANTOS, M. N. S. DOS, OLIVEIRA, D. E. C. DE; RUFFATO, S.; PEREIRA, V. S. Cinética de secagem de grãos de milho da cultivar pioneer p3646. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v.07, n.02, p.119–129, maio/ago. 2014.

SILVA, E.; OLIVEIRA, H. M.; ARAÚJO, L. N. C.; GUILHERME, F. S.; MARACAJÁ, P. B. Caracterização morfológica e qualidade fisiológica de cultivares de sementes de gergelim. **Revista Verde**, Pombal, v 9, n. 3 , p. 149 - 156, 2014a.

SILVA, F. S.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; RIBEIRO, R. M.; AFONSO JÚNIOR, P. C. Efeito do beneficiamento nas propriedades físicas e mecânicas dos grãos de arroz de distintas variedades. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 5, p. 33-41, 2003.

SILVA, L. A. DA; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; ALMEIDA, R. D.; Cavalcanti, R. F. R. de R.M. Cinética da secagem de grãos de algaroba. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.14, n. Especial, p.535-542, 2012.

SILVA, L. M. DE M.; SOUSA, F. C. DE; SOUSA, E. P. DE; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M. Modelos de predição da cinética de secagem dos grãos de guandu. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 17, n. 4, p. 310-318, 2014b.

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Drying kinetics of Jatropha seeds. **Revista Ceres**, v.59, p.171-177, 2012.

TELIS, V. R. N.; GABAS, A. L.; MENEGALLI, F.C.; TELIS-ROMERO, J. Water sorption thermodynamic properties applied to persimmon skin and pulp. **Thermochimica Acta**, Higashi-Hiroshima, v. 343, n. 1-2, p. 49-56, 2000.

THOMPSON, T. L.; PEART, R. M.; FOSTER, G. H. Mathematical simulation of corn drying: A new model. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v.11, n.4, p.582-586, 1968.

TUNDE-AKINTUNDE, T. Y.; AKINTUNDE, B. O. Some physical properties of sesame seed. **Biosystems Engineering**, v. 88, n. 1, p. 127-129, 2004.

TUNDE-AKINTUNDE, T.Y.; AKINTUNDE, B.O. Effect of Moisture Content and Variety on Selected Properties of Beniseed. **Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal**, vol. IX. November, 2007.

VALENTE, M. DA C. DA C.; COSTA, C. M. L.; SOUZA, C. A. G. DE. Cinética de secagem em leito fluidizado de sementes de linhaça (*Linum usitatissimum* L.). **Revista de Ciências Exatas**, RJ, EDUR, v. 27/31, n. 2, jul-dez p. 110-120, 2012.

ZOGZAS, N. P.; MAROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. **Drying Technology**, v.14, p.2225-2253, 1996.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PROCESSOS



Tese de Doutorado: **Processamento do gergelim: extração de óleo e aproveitamento dos resíduos para produção de alimentos**

Autora: **Débora Rafaelly Soares Silva**

Orientadores: **Prof. Dr. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata**

Prof.^a Dr.^a Maria Elita Martins Duarte

CAPÍTULO II

INFLUÊNCIA DA EXTRAÇÃO DE ÓLEO DE SEMENTES DE GERGELIM COM DIFERENTES TEORES DE ÁGUA NA QUALIDADE DURANTE O ARMAZENAMENTO

RESUMO

O óleo de gergelim é constituído por diversos antioxidantes, que além de aumentarem a estabilidade oxidativa do óleo, promovem vários benefícios à saúde. O teor de água contido nas sementes durante o processo de extração do óleo pode interferir diretamente na qualidade final do produto. Assim, objetivou-se com este trabalho determinar entre os teores de água estudados (2,0, 4,0, 6,0 e 8,0% b.u.) o maior rendimento no processo de extração do óleo e, avaliar as características física, físico-químicas quanto a sua estabilidade ao longo de 180 dias em diferentes condições de armazenamento (efeito da presença e da ausência de luz). Durante o armazenamento as amostras de óleo de gergelim foram avaliadas a cada 30 dias quanto aos parâmetros: densidade e os índices (acidez, peróxido, saponificação, iodo e refração). O comportamento térmico do óleo de gergelim, foi determinado através do calorímetro diferencial de varredura DSC. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 2 x 7 (% teor de água das sementes x tipo de embalagem x período de armazenamento). Analisando os resultados, observou-se que o rendimento da extração do óleo foi reduzido em função do aumento do teor de água das sementes, onde o rendimento máximo foi obtido para as sementes de gergelim com teor de água de 2%. Todas as amostras de óleo analisadas armazenadas tanto expostas à luz, quanto na ausência da luz, permaneceram dentro dos padrões exigidos pela legislação para este produto, durante o período de armazenamento.

Palavras-chave: rendimento, embalagens, estabilidade.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIENCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PROCESSOS



Doctoral Thesis: **Sesame Processing: Oil extraction and use waste for food production**

Author: **Débora Rafaelly Soares Silva**

Supervisors: **Prof. Dr. Mario Rangel Eduardo Moreira Cavalcanti Mata**

Prof.^a Dr.^a Maria Elita Martins Duarte

CHAPTER II

**INFLUENCE OF SESAME SEED OIL EXTRACTION WITH WATER LEVELS IN
DIFFERENT QUALITY DURING STORAGE**

ABSTRACT

Sesame oil is composed of several antioxidants, which in addition to increasing the oxidative stability of the oil, promote several health benefits. The water content contained in the seeds during the process of oil extraction can directly affect the final product quality. Thus, the aim of this study was to determine between the water contents studied (2.0, 4.0, 6.0 and 8.0% bu) the highest yield in the oil extraction process, and evaluate the physical characteristics, as physicochemical stability over 180 days at different storage conditions (effect of the presence and absence of light). During the sesame oil sample storage were evaluated every 30 days for the parameters: density and indexes (acidity, peroxide, saponification, iodine and refraction). The thermal behavior of sesame oil, was determined by DSC differential scanning calorimeter. The experiment was conducted in a completely randomized design in a factorial 4 x 2 x 7 (% water content of seeds x type of packaging x storage period). Analyzing the results, it was observed that the yield of oil extraction was reduced due to the increase of the water content of the seeds, where the maximum yield was obtained for the sesame seeds with 2% water content. All as analyzed oil samples stored both exposed to light, as in the absence of light, they remained within the required standards for legislation to this product during the storage period.

Keywords: efficiency, packaging, stability.

II.1 - INTRODUÇÃO

O gergelim é uma cultura bastante antiga, sendo considerada uma das principais oleaginosas cultivadas em todo o mundo (QUEIROGA et al., 2008). As sementes, principal produto do gergelim, contém grande variedade de princípios nutritivos de alto valor biológico, possui em média, 52% de lipídios, sendo praticamente todos constituídos por ácidos graxos insaturados; 20% de proteínas formadas por 15 aminoácidos com elevada proporção de metionina (aminoácido essencial); vitaminas, especialmente a E (tocoferol), a B1 ou tiamina e a B2 ou riboflavina; minerais e oligoelementos, especialmente cálcio, fósforo, ferro, magnésio, cobre e cromo; além de mucilagens com ação laxante suave. É ótima fonte de proteínas e rica em gordura, a partir da qual se pode fabricar um óleo comestível bastante popular na cozinha oriental. Pode ser utilizada como alimento ou condimento, além de proporcionar mais sabor aos pães (VIEIRA, 2007).

O gergelim é largamente usado em muitos países pelo seu alto teor de óleo, proteína e conteúdo de antioxidante, tem crescido o interesse devido a sua larga aplicação na indústria de alimentos pelo seu significativo impacto sobre a saúde em prevenir doenças (LEE et al., 2006). Por ser um alimento de alto valor nutricional, rico em óleo e proteínas, e seus grãos encontrarem diversas aplicações na indústria farmacêutica, cosmética e óleo-química, o gergelim (ou sésamo) vem despertando nos últimos anos o interesse de novos produtores e empresários brasileiros que buscam uma cultura alternativa para alimentação e exploração agrícola viável (EMBRAPA ALGODÃO, 2003).

Para uma eficiente utilização dessa oleaginosa se faz necessário o controle do teor de água das sementes durante o processo de extração do óleo, pois este parâmetro interfere diretamente na qualidade final do produto.

Assim, objetivou-se com este trabalho determinar entre os teores de água estudados (2,0, 4,0, 6,0 e 8,0% b.u.) o maior rendimento no processo de extração do óleo, e avaliar as características física, físico-químicas do óleo quanto a sua estabilidade ao longo de 180 dias, armazenado na presença e na ausência de luz.

II.2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

II.2.1 - Óleo de gergelim

O óleo de gergelim extraído dos grãos é considerado como um dos mais finos azeites no mercado, sendo comumente usado na indústria alimentícia. Este óleo é rico em ácidos graxos insaturados, contendo aproximadamente 47% de ácido oléico e 39% de ácido linoléico e representa de 44 a 58% do seu peso. Tanto o óleo como as comidas fritas com ele tem vida de prateleira longa, devido à presença dos antioxidantes (não rancifica), que melhoram seu sabor (BELTRÃO & VIEIRA, 2001).

O óleo de gergelim é sucedâneo do óleo de oliva, é pouco alterável pelo ar, é fluido, amarelo a claro dourado, cor âmbar escuro a transparente, sabor de amêndoas característico, aromático, doce, agradável com odor pouco pronunciado e quase inodoro. É apreciado para diversas finalidades na culinária e até preferido ao óleo de oliva por muitos consumidores nas saladas e maioneses (MORETTO & FETT, 1998).

O óleo é rico em ácidos graxos insaturados e, apresenta vários constituintes secundários que são importantíssimos na definição de suas propriedades químicas, como sesamol, a sesamina e a sesamolina (EMBRAPA ALGODÃO, 2006). O sesamol com suas propriedades antioxidantes dá ao óleo uma elevada estabilidade química evitando a rancificação, sendo entre os demais óleos de origem vegetal, o que apresenta a maior resistência à oxidação (BELTRÃO; FREIRE; LIMA, 1994; FIRMINO, 1996). Namiki (2007) comprovou em seus estudos que alguns constituintes presentes na semente de gergelim, como os tocoferóis e lignanas, são capazes de reduzir os níveis séricos de colesterol, além de atuarem como anti-hipertensivo e anticarcinogênico.

Os óleos industrializados de gergelim são: óleo extra virgem, óleo refinado e ultra-refinado, óleo tostado e óleo bruto de gergelim.

II.2.1.1 - Óleo extra virgem

Este produto é um excelente azeitador, dando melhor sabor aos alimentos e às saladas de verduras. O óleo de gergelim possui "flavour" (sabor) característico e agradável e maior estabilidade oxidativa, quando comparado com a maioria dos óleos vegetais, por causa dos ácidos graxos em sua composição e pela presença dos antioxidantes naturais,

sesamolina, sesamina, sesamol e gama tocoferol. O óleo extra virgem é considerado poderoso átomo de energia e potência concentrada, utilizado na confecção de cremes hidratantes, sabonetes, loções para alopecia e, na composição de loções como filtros solares (BELTRÃO & VIEIRA, 2001).

II.2.1.2 - Óleo refinado

O óleo refinado é considerado como um dos mais finos azeites disponíveis no mercado. O azeite de gergelim refinado é usado comumente, não somente na indústria do processamento dos alimentos, mas também em numerosas aplicações como na indústria farmacêutica e de cosméticos. Este azeite destaca-se por suas poderosas propriedades antioxidantes naturais, as quais prolongam o período de conservação de produtos fritos. As características desse produto têm incrementado a rápida diversificação de alimentos (BELTRÃO & VIEIRA, 2001).

O óleo de gergelim refinado é obtido de grãos não torrados e, portanto, sua tonalidade é clara. As etapas para a obtenção do óleo refinado são: cozimento com vapor, prensagem, neutralização, branqueamento e desodorização (consiste na destilação a vapor sob pressão reduzida). A etapa de tratamento térmico dos grãos de gergelim, antes da extração, não é mais empregada pelas indústrias de óleo (BELTRÃO & VIEIRA, 2001). Quando o óleo refinado é submetido novamente à etapa de filtragem, então é obtido o óleo ultra-refinado de gergelim.

II.2.1.3 - Óleo tostado de gergelim

Os alimentos preparados com o óleo de gergelim tostado têm uma excelente resistência à rancificação, devido aos antioxidantes formados durante o processo de torrefação. No processo de torrefação não se utiliza nenhum tipo de aditivo, conservante ou produto químico. Em forno pré-aquecido, é possível obter óleo de qualidade, após torrefação do grão, a 180°C por 20 minutos ou por 15 minutos a 200°C, ou do aquecimento do óleo. Com o processo de torrefação do grão, ocorre redução nos teores dos antioxidantes sesamina, sesamolina e o tocoferol, e aumento nos teores de sesamol, devido à decomposição de sesamolina - o sesamol possui atividade antioxidante maior que o seu precursor (sesamolina). Com o aumento da temperatura, ocorre redução da qualidade da

proteína - devido ao escurecimento pela perda de aminoácidos sulfurados - e redução da digestibilidade e da solubilidade. Quando torrado, é indispensável nas cozinhas japonesa, chinesa e coreana, em razão do seu 'flavour', ou seja, seu sabor agradável (BELTRÃO & VIEIRA, 2001).

II.2.1.4 - Óleo bruto

A extração do óleo bruto é feita pelas seguintes etapas: torrefação dos grãos, cozimento com vapor, prensagem e filtragem. Esta extração é realizada diretamente nos grãos inteiros, mas, devido ao alto teor de óleo e ao baixo teor de fibra presentes nos grãos, o rendimento do processo é mais baixo do que seria obtido na extração por solvente (BELTRÃO & VIEIRA, 2001). Assim, a torta resultante da extração por prensagem ainda contém teor residual de óleo em torno de 17%. O óleo obtido por prensagem sempre arrasta resíduos que tendem a turvá-lo. A separação deste material pode ser por sedimentação ou por filtragem.

II.2.2 - Extração do óleo

Os processos industriais comumente utilizados na obtenção de óleo de sementes vegetais são os seguintes: extração por solvente orgânico ou por prensagem das sementes.

A extração por solvente (ou extração sólido-líquido) é uma operação unitária simples, na qual se obtêm uma solução preferencial de um soluto, como o óleo, pelo contato com um solvente líquido. A extração envolve a dissolução seletiva, como ou sem difusão, ou solubilização. O constituinte solúvel pode ser sólido ou líquido, podendo estar incorporado dentro, combinado quimicamente, adsorvido, ou mecanicamente preso na estrutura porosa do material insolúvel. Ele pode ser maciço ou poroso, ou, mais frequentemente, particulado, em que as partículas podem ter poros, células com paredes celulares permeável seletivamente, ou superfície ativada (O'BRIEN, 2004). Essa metodologia de extração consiste na adição de um solvente, que geralmente é o hexano, à massa contendo o óleo a ser extraído. Com essa mistura, o óleo se dissolve no solvente formando uma "miscela" que é separada do resíduo. A miscela é então destilada, separando-se o solvente do óleo (LAWSON, 1995; MEDRANO, 2007).

A prensagem contínua de grãos oleaginosos é um método rápido, fácil e de baixo custo para a obtenção de óleos, sendo uma alternativa viável para pequenas comunidades de agricultores. A eficiência deste método é bem inferior àquela conseguida pelo tradicional método de extração por solvente, sendo afetada por parâmetros construtivos da prensa, como dimensionamentos do eixo sem fim e da gaiola, pressão aplicada e pelo tempo de prensagem, e também pelo preparo prévio da matéria-prima a ser processada, como temperatura de prensagem e teor de água das amostras (PIGHINELLI et al., 2008).

Cavalcanti Mata et al. (2010) estudaram o comportamento de diversos óleos (pinhão manso, castanha de caju, licuri e gergelim por extrusão e verificaram alto rendimento de extração, no entanto observaram que o óleo extraído com temperaturas acima de 75°C comprometia a qualidade do óleo.

II.2.3 - Composição química e físico-química do óleo de gergelim

II.2.3.1 - Índice de acidez

Índice de acidez é a massa de hidróxido de potássio, em miligramas, gastas na neutralização dos ácidos livres presentes em um grama de amostra de óleo. O índice de acidez revela o estado de conservação do óleo ou azeite. A decomposição dos glicerídeos é acelerada por aquecimento e pela luz, e a rancidez é quase sempre acompanhada pela formação de ácidos graxos livres e indica o estado de conservação (BRASIL, 2005).

Para estudar a autenticidade do óleo de copaíba, Vasconcelos e Godinho (2002), utilizou o índice de acidez, e constatou que um valor abaixo de 80 mgKOH/ g para este índice serve como indício de que a amostra foi adulterada. Além disso, o valor do índice de acidez pode ser usado para se avaliar o teor do contaminante na amostra.

II.2.3.2 - Índice de peróxido

O índice de peróxido determina, em moles por 1000 g de amostra, todas as substâncias que oxidam o iodeto de potássio, devido sua ação fortemente oxidante (ZAMBIAZI, 1997).

De acordo com Araújo (2004), o índice de peróxido é um indicador do estágio inicial de oxidação, sendo sua presença um indício de que a deterioração do sabor e odor, em função de sua instabilidade, está por acontecer.

Faroni et al. (2009), avaliaram as principais alterações qualitativas de soja armazenada em silos tipo bolsa e do óleo bruto extraído de soja com teores de água de 17,4% e 13,3%, armazenada em dois silos tipo bolsa, por 180 dias. Como resultado obtido, verificaram que, ao longo dos 180 dias de armazenamento, os valores médios do índice de peróxidos para ambos os casos apresentaram-se abaixo do limite de 10 meqkg^{-1} de amostra, estabelecido por Brasil (1999) para a comercialização do óleo bruto de soja.

II.2.3.3 - Índice de refração

O refratômetro mede o índice de refração, que indica a diminuição da velocidade da luz, quando passa através do produto. O refratômetro tem uma escala para o índice de refração e outra equivalente em °Brix ou % de sólidos solúveis, de leitura direta. O índice de refração é característico para cada tipo de óleo e está relacionado com o grau de insaturação das cadeias, compostos de oxidação e tratamento térmico (BRASIL, 2005).

Os óleos e gorduras possuem poderes de refringências diferentes e de acordo com sua natureza, desviam com maior e menor intensidade os raios luminosos que os atravessa. O índice de refração de uma gordura aumenta com o comprimento da cadeia hidrocarbonada e com o grau de insaturação dos ácidos graxos constituintes dos triglicerídeos (MORETTO & FETT, 1998).

Oliveira et al. (2011) ao estudarem as características físico-químicas dos co-produtos (óleo e torta) do gergelim cv. CNPA-G4, verificaram que o índice de refração, obtido para os dois óleos estão dentro das faixas determinadas na norma vigente (BRASIL, 1999).

II.2.3.4 - Índice de saponificação

O índice de saponificação é definido como o número de miligramas de hidróxido de potássio necessário para neutralizar os ácidos graxos livres, resultantes da hidrólise de um grama da amostra; é inversamente proporcional ao peso molecular médio dos ácidos graxos dos glicerídeos presentes. É importante, para demonstrar a presença de óleos ou

gorduras de alta proporção de ácidos graxos, de baixo peso molecular, em mistura com outros óleos e gorduras (BRASIL, 2005).

Almeida et al. (2006), estudaram a caracterização físico-química de óleo de sementes de três cultivares de algodão colorido (*Gossypium hirsutum* L.) e apresentaram uma avaliação comparativa entre as cultivares de algodão, BRS-Marrom, CNPA-5M e BRS-Verde. Com base nos dados das análises realizadas nas sementes de algodão, concluiu-se que a análise físico-química dos óleos das sementes confirmou que os mesmos encontravam-se dentro do recomendado, de acordo com a legislação vigente. Com exceção da cultivar BRS-Verde, onde foi identificado valor de índice de saponificação superior (199,3 mg KOH/g de óleo) ao especificado pela legislação vigente no país.

II.2.3.5 - Índice de iodo

O índice de iodo é uma medida do grau de insaturação dos ácidos graxos presentes na gordura e é expresso em termos do número de centigramas de iodo absorvido por grama da amostra (% de iodo absorvido). Sob determinadas condições, o iodo pode ser quantitativamente introduzido nas duplas ligações dos ácidos graxos insaturados e triacilgliceróis. O índice de iodo, portanto, proporciona uma medida do grau de insaturação das gorduras extraídas por éter. Por essa razão, quanto maior a insaturação de um ácido graxo, maior será a sua capacidade de absorção de iodo e, conseqüentemente, maior será o índice de iodo (MENDONÇA et al., 2008).

Com relação ao índice de iodo, Almeida et al. (2006) verificaram que os valores de iodo encontrados variaram de 117,9 a 119,2 Wijs, denotando que os resultados estavam dentro do limite máximo permitido para esta oleaginosa, que é de 119,0 Wijs. O método de Wijs é aplicável a todos os óleos e gorduras normais que não contenham ligações duplas conjugadas.

Ao determinar as características físico-químicas dos co-produtos (óleo e torta) do gergelim cv. CNPA-G4, OLIVEIRA et al., (2011) verificaram um menor índice de iodo para o óleo extraído de sementes de gergelim torradas quando comparado ao óleo obtido de sementes *in natura*.

II.2.3.6 - Densidade

A densidade relativa de um óleo determina a relação da massa de um volume unitário da amostra e da massa de um volume unitário da água, a uma temperatura padrão (AOCS, 1998). Um dos métodos para a determinação de densidade consiste na medida do peso de um recipiente, com volume conhecido, volume este que seja calibrado de acordo com o peso da água pura no mesmo recipiente; chamados de picnômetros. São de vidro resistente com baixo coeficiente de expansão térmica, geralmente, 25 mL ou 50 mL de volume e têm precisão até a quarta casa decimal (CECCHI, 2003).

II.2.4 - Composição em ácidos graxos

Os ácidos graxos são ácidos carboxílicos de cadeia longa, livres ou esterificados, constituindo os óleos e gorduras. Quando saturados possuem apenas ligações simples entre os carbonos e possuem pouca reatividade química. Já os ácidos graxos insaturados, contêm uma ou mais ligações duplas no seu esqueleto carbônico; são mais reativos e mais suscetíveis a termo-oxidação (REDA & CARNEIRO, 2007).

Corso (2008) ao realizar o estudo da extração de óleo de sementes de gergelim empregando os solventes dióxido de carbono supercrítico e n-propano pressurizado, verificou que os processos de extração e os diferentes solventes não interferiram na composição química dos ácidos graxos do óleo, sendo os ácidos linoleico e oleico, encontrados em maior quantidade, seguidos pelos ácidos palmítico e esteárico.

II.2.5 - Estabilidade de óleos vegetais

Segundo a Farmacopéia Americana (USP, 1990) a estabilidade é definida como a amplitude na qual um produto mantém dentro de limites especificados, as mesmas propriedades e características que possuía quando de sua fabricação durante o seu período de armazenamento e uso (PIANOVSKI et al., 2008).

Para Corsini & Jorge (2006), a perda da estabilidade oxidativa de um óleo se deve às reações de oxidação dos lipídios. A oxidação é um processo degradativo que ocorre quando o oxigênio atmosférico ou aquele que está dissolvido no óleo reage com ácidos graxos insaturados presentes. As reações químicas envolvidas no processo de oxidação dos

óleos são muito complexas e geram, em seus estágios mais avançados, produtos sensorialmente inaceitáveis. O processo de oxidação pode ser favorecido e intensificado pela incidência de luz, que atua como catalisador. Os ácidos graxos insaturados são mais sensíveis à oxidação do que os saturados. As gorduras que tenham sofrido processo de oxidação tendem a escurecer, aumentar a viscosidade, incrementar a formação de espumas e desenvolver sabor e aromas indesejáveis.

A principal característica do óleo de gergelim é a alta estabilidade oxidativa, o que sugere como potencial substituto de óleos utilizados no preparo de frituras ou submetidos a altas temperaturas. A estabilidade está relacionada aos elevados teores de antioxidantes naturais (LEE et al., 2008).

O gergelim apresenta alguns antioxidantes naturais, os mais conhecidos são a sesamina, sesamolina e outras ligninas. Já outros antioxidantes como o sesamol e o sesaminol estão presentes em pequenos valores nas sementes (ANTONIASSI, 2001). Além de todos esses compostos presentes no óleo do gergelim, há também o tocoferol, que é classificado como um dos melhores antioxidantes naturais, pois é graças a ele que o processo de rancificação dos óleos é diminuído, prevenindo assim a oxidação dos ácidos graxos insaturados (RAMALHO & JORGE, 2006).

Os métodos de determinação da estabilidade oxidativa surgiram numa tentativa de prever a vida-de-prateleira de óleos e gorduras, pois o acompanhamento das alterações ocorridas nestes produtos, nas condições de armazenamento, é lento e pode consumir grande quantidade de reagente. Portanto, para avaliar a estabilidade oxidativa ou a sua suscetibilidade à oxidação, o óleo pode ser submetido a testes de oxidação acelerada, sob condições padronizadas e um ponto final é escolhido, no qual se observam sinais de deterioração oxidativa. Para se acelerar a oxidação, o aquecimento tem sido o meio mais utilizado e eficiente (ANTONIASSI, 2001).

II.2.5.1 - Calorimetria diferencial de varredura (DSC)

A calorimetria diferencial de varredura, ou calorimetria exploratória de varredura – DSC (*Differential Scanning Calorimetry*) é uma técnica que consiste em determinar a diferença de energia fornecida a substância em estudo e uma substância de referência (SKOOG & LEARY, 1992).

O método avalia a pureza do composto por meio de uma análise do pico de fusão obtido, aplicando a lei da depreciação do ponto de fusão de Van't Hoff (que prevê a depreciação do ponto de fusão do composto puro devido à presença de impurezas) (A VAN DOOREN; MULLER, 1984).

Os calorímetros disponíveis no mercado para a realização das análises de calorimetria diferencial de varredura podem ser classificados em dois tipos distintos. O DSC por compensação de energia fornecida (Power compensation), onde a energia é suprida às amostras por fontes diferentes de aquecimento, e o DSC por compensação de fluxo de calor suprido (Heat-Flux), onde a amostra e a substância de referência recebem suprimento de energia em forma de calor de uma única fonte. Geralmente se recebe ar como substância de referência, e a diferença de energia absorvida e liberada é determinada em função da diferença de temperatura entre a amostra e a referência (SKOOG & LEARY, 1992).

De acordo com Tan et al. (2002), a DSC tem potencial para ser usada como um método não químico para determinar os parâmetros de qualidade de óleos.

II.3 - MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Engenharia de Alimentos, da Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos, no Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Nesta pesquisa foram utilizadas sementes de gergelim da cultivar BRS Seda, fornecidas pela EMBRAPA - Algodão, situada em Campina Grande - PB.

II.3.1 - Extração de óleo de sementes de gergelim

A extração de óleo de gergelim foi realizada com o auxílio de uma prensa hidráulica, modelo P30 ST (Figura II.3.1), utilizando-se sementes com teores de água de 2,0; 4,0; 6,0 e 8,0% (b.u.). Foram realizados testes preliminares em sementes de gergelim com teores de água superiores aos estudados, porém, observou-se que os teores de água acima de 8,0% (b.u.), impossibilitaram o processo de extração devido ao alto teor de água presente nas sementes. Como as sementes de gergelim continham um teor de água inicial de aproximadamente 5,0% (b.u.), foi necessário à realização dos processos: de secagem para a obtenção dos teores de água de 2,0 e 4,0% (b.u.); e de umedecimento para a obtenção dos teores de água de 6,0 e 8,0% (b.u.).

Os teores de água de 2,0 e 4,0% (b.u.), foram obtidos através de secagem das sementes de gergelim em estufa na temperatura de 40 °C, sendo pesadas periodicamente utilizando uma balança eletrônica com precisão de 0,001g, até que atingissem o teor de água pré-estabelecido. Para os teores de água de 6,0 e 8,0%, as sementes foram umedecidas de forma uniforme em cesta de arame; este material ficou suspenso sobre uma bandeja plástica com água destilada. Em seguida, o conjunto (bandeja e cesta com sementes) foi envolvido por um plástico filme, vedado, e levado a uma câmara do tipo BOD com temperatura de 6 °C, as amostras foram pesadas periodicamente, até que atingissem os pesos referentes aos teores de água desejados.

O processo de extração de óleo das sementes de gergelim oriundas dos processos de secagem e umedecimento, nos respectivos teores de água (2,0, 4,0, 6,0 e 8,0% (b.u.)), ocorreu da seguinte forma: uma quantidade de aproximadamente 150 g de sementes de gergelim foi introduzida no extrator; em seguida, o extrator foi colocado dentro de um recipiente e envolvido por uma tela de aço inoxidável utilizada para impedir que os

resíduos fossem liberados pelo extrator durante a extração; uma haste foi acoplada ao extrator e o conjunto foi colocado na prensa para extração do óleo de gergelim, foi empregado uma força máxima de aproximadamente 20 Ton. O farelo residual obtido durante a extração do óleo de gergelim foi submetido novamente ao processo, onde foram realizadas as etapas citadas anteriormente.

Neste processo foram avaliados os rendimentos do óleo de gergelim e a quantificação dos resíduos gerados durante extração para os diferentes teores de água estudados e, a partir desta avaliação foi determinado o teor de água que promoveu uma maior eficiência no processo de extração do óleo.



Figura II.3.1 - Prensa hidráulica utilizada para extração do óleo das sementes de gergelim

II.3.1.1 - Rendimento da extração

O rendimento da extração do óleo de gergelim foi avaliado considerando a diferença entre a massa inicial das sementes e a massa de torta obtida ao final do processo de extração, sendo expresso em porcentagem (%) e calculado através da seguinte equação:

$$\text{Rendimento do óleo (\%)} = \frac{(\text{gramas de sementes inicial} - \text{gramas de torta})}{\text{gramas de semente inicial}} \times 100 \quad (1)$$

II.3.1.2 - Filtragem do óleo de gergelim

Após a obtenção do óleo foi realizado o processo de filtragem, este procedimento foi realizado em duas etapas; primeiramente o óleo foi filtrado em sacos confeccionados em organza (abertura da malha próxima a 100 mesh), onde ocorreu a separação de sólidos que foram arrastados juntamente com o óleo durante a extração, e finalmente a filtragem feita através de filtros de papel, tendo como finalidade reter os sólidos que não foram retirados na etapa anterior.

II.3.2 - Armazenamento

O armazenamento do óleo de gergelim foi realizado em recipientes herméticos de vidro (Figura II.3.2). O efeito da luminosidade foi um parâmetro estudado durante o armazenamento, onde uma parte das amostras permaneceu exposta à luz do ambiente, enquanto a outra parte das amostras ficou completamente isolada da luz; neste caso os frascos foram revestidos por plástico adesivo de cor preta.

O período de armazenamento foi de 180 dias, e a cada 30 dias as amostras de óleo foram analisadas quanto à densidade e os índices (acidez, peróxido, saponificação, iodo e refração). Após os 180 dias de armazenamento foi determinado o comportamento térmico do óleo de gergelim, através do calorímetro diferencial de varredura DSC.



Figura II.3.2 - Embalagens utilizadas para o armazenamento do óleo de gergelim

II.3.3 - Caracterização física e físico-química do óleo de gergelim

II.3.3.1 - Índice de acidez

O índice de acidez foi determinado pelo método que utiliza como solução titulante, o hidróxido de potássio 0,1N e fenoftaleína como indicador, de acordo com metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (2008).

II.3.3.2 - Índice de peróxido

Para determinação do índice de peróxido, foi empregado o método titulométrico, tendo como solução titulante o tiosulfato de sódio 0,1 N, obedecendo-se à metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (2008).

II.3.3.3 - Índice de refração

O índice de refração foi determinado pelo método instrumental, utilizando o refratômetro de Abbe. Primeiramente ajustou-se o refratômetro com água destilada à temperatura de 20 °C, em seguida colocou-se duas gotas da amostra entre os prismas do refratômetro e procedeu-se a leitura, de acordo com a metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (2008).

II.3.3.4 - Índice de saponificação

Para determinação do índice de saponificação, foi utilizado o método titulométrico, através da fenoftaleína como indicador e a solução de ácido clorídrico a 0,5 N, como titulante, conforme metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (2008).

II.3.3.5 - Índice de iodo

A determinação do índice de iodo foi feita pelo método de Wijs, através do método descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (2008).

II.3.3.6 - Densidade

A densidade do óleo foi determinada pelo o método do picnômetro, através da razão da massa da amostra em relação à da água por unidade de volume a 25 °C e é aplicável a todos os óleos e gorduras líquidas, conforme método descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (2008).

II.3.4 - Calorimetria diferencial de varredura do óleo de gergelim

O comportamento térmico do óleo extraído a partir de diferentes teores de água da semente de gergelim, foi determinado através do calorímetro diferencial de varredura DSC, da marca Linseis, modelo DSC PT10, considerando-se o princípio de fluxo de calor. Inicialmente, foi pesado aproximadamente 5,0 mg de óleo dentro de uma cápsula de alumínio e, em seguida, introduziu-se no equipamento DSC. Os dados calorimétricos começaram a ser registrados quando a amostra atingia 30 °C, sendo então aquecida a uma taxa de 10 °C/min até a temperatura estabelecida de 300 °C.

II.3.5 - Análise estatística

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado (DIC), para os parâmetros: índice de acidez, índice de peróxido, índice de refração, índice de saponificação, índice de iodo e densidade. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial 4 x 2 x 7, com três repetições. Os fatores estudados foram: extração de óleo de sementes de gergelim com diferentes teores de água (2,0; 4,0; 6,0 e 8,0 %), embalagens quanto à ausência ou presença de luz (revestidas e não revestidas) e os períodos de armazenamento (0, 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias). As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do Software ASSISTAT versão 7.5 Beta (SILVA & AZEVEDO, 2010).

II.4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

II.4.1 - Determinação do teor de água e de lipídeo das sementes de gergelim

Na Tabela II.4.1 tem-se os valores médios dos constituintes teor de água e lipídeos presentes nas sementes de gergelim.

O teor de água inicial das sementes de gergelim, de 5,22%, foi inferior ao valor reportado por Almeida et al. (2010) para a mesma cultivar BRS Seda (5,65%) e superior ao valor de 4,9%, obtido por Corso (2008) ao realizar o estudo da extração do óleo de gergelim. O teor de água determinado neste estudo encontra-se dentro dos padrões de qualidade exigidos pelo mercado para os grãos de gergelim, conforme descrito por Queiroga et al. (2008), onde os teores de água devem situar-se entre a faixa de 5,0 a 7,0%.

O teor de lipídeos encontrado foi inferior ao valor reportado por Silva et al. (2011) para as sementes de gergelim creme (56,45%) e superior ao teor definido no mesmo trabalho para o gergelim preto (48,92%). Pode-se, observar na Tabela Brasileira de composição de alimentos (TACO, 2006), que o teor de lipídeos referido de 50,4%, é similar ao resultado obtido neste estudo.

Contata-se ainda, que o resultado está em conformidade com Arriel et al. (2007) ao afirmarem que o teor de óleo da cultivar BRS Seda varia entre 50,0 a 52,0%. De acordo com Firmino et al. (2010), o teor de óleo acima de 50,0%, demonstra a aptidão desta oleaginosa para obtenção de óleo de excelente qualidade para uso alimentar, cosmético, químico, farmacêutico, como também para uso em biocombustíveis.

Tabela II.4.1 - Valor médio do teor de água e de lipídeo da semente de gergelim

Parâmetros	Média e Desvio padrão
Teor de água (%)	5,22 ± 0,20
Lipídeos (%)	52,73 ± 0,15

II.4.2 - Rendimento do óleo de gergelim

O rendimento do óleo, obtido após a prensagem das sementes de gergelim para os diferentes teores de água de 2,0, 4,0, 6,0 e 8,0%, encontram-se na Tabela II.4.2.

Analisando os resultados, verifica-se que o melhor rendimento na extração de óleo foi obtido para as sementes de gergelim com teor de água de 2% (42,34%), valor este próximo ao rendimento de 44,89%, obtido por Queiroga et al. (2010) ao realizarem a extração de óleo de gergelim através de uma prensa comum. De acordo com Kimbonguila et al. (2009) o gergelim está entre as espécies vegetais com mais alto teor de óleo (com constituintes de alto valor nutricional), podendo variar entre 35 e 63%, estando os resultados obtidos neste estudo dentro da faixa referida por estes autores.

Observa-se que as sementes de gergelim tratadas com os teores de água de 4 e 6%, apresentaram rendimentos semelhantes, com valores de 39,09 e 38,10%, respectivamente; estes rendimentos foram superiores ao reportado por Oliveira et al. (2011) ao realizarem a caracterização físico-química dos co-produtos do gergelim cv. CNPA-G4, que obtiveram o rendimento máximo de 32,50% para as sementes tostadas.

O menor rendimento foi obtido para as sementes tratadas com 8,0%, provavelmente este fato ocorreu devido ao maior conteúdo de água presente nessas sementes, que dificultou o processo de extração. O valor de 34,61%, obtido para as sementes extraídas com o teor de água de 8,0%, foi superior ao rendimento relatado por Queiroga et al. (2007), cujo valor médio da extração do óleo de gergelim a frio foi de aproximadamente 28%.

Tabela II.4.2 - Rendimento do óleo de gergelim extraído com diferentes teores de água de 2,0, 4,0, 6,0 e 8,0%

Tratamentos	Rendimento (%)
Óleo de gergelim (2%)	42,34 ± 0,11
Óleo de gergelim (4%)	39,09 ± 0,18
Óleo de gergelim (6%)	38,10 ± 0,13
Óleo de gergelim (8%)	34,61 ± 0,09

II.4.3 - Caracterização física e físico-química do óleo de gergelim

Na Tabela II.4.3 tem-se os resultados da análise de variância do óleo de gergelim, quanto aos índices (acidez, peróxido, refração, saponificação, iodo) e a densidade.

Para o índice de acidez verifica-se que dentre todos os fatores avaliados, apenas o fator embalagem não foi significativo. Quanto ao índice de peróxido, observa-se que os

fatores (teor de água, embalagem e tempo) estudados, bem como as suas interações foram significativas para esta análise.

O índice de refração foi significativo para os fatores teor de água e tempo e na interação entre esses fatores; e diferiu significativamente para o fator embalagem e nas demais interações avaliadas.

Para o índice de saponificação, observa-se que todos os fatores estudados foram significativos; apesar do fator embalagem ter sido significativo as interações entre os fatores teor de água x embalagem, e também entre embalagem x tempo; diferiram significativamente.

O índice de iodo foi significativo para todos os fatores estudados e, para as interações teor de água x embalagem, teor de água x tempo, também entre os fatores teor de água x embalagem x tempo, ocorrendo diferença significativa somente para a interação entre embalagem x tempo.

Para a densidade, verifica-se que ocorreu diferença significativa apenas para o fator embalagem, os demais fatores avaliados, bem como as interações entre os fatores foram significativos.

De modo geral, percebe-se significância para todos os fatores em relação aos parâmetros utilizados na caracterização física e físico-química do óleo de gergelim.

Tabela II.4.3- Resumo da Análise de Variância (ANOVA) para os índices (acidez, peróxido, refração, saponificação, iodo) e densidade

F.V.	G.L.	Quadro Médio					
		Acidez	Peróxido	Refração	Saponificação	Iodo	Densidade
Teor de água (T.A)	3	5,461**	310,801**	0,00000**	24,360**	153,662**	0,00003**
Embalagem (E)	1	0,001 ns	91,516**	0,00000ns	2,571*	47,356**	0,00000ns
Tempo (T)	6	0,099**	103,664**	0,00002**	73,738**	45,640**	0,00003**
T.A x E	3	0,003**	1,071**	0,00000ns	1,092ns	18,016**	0,00000*
T.A x T	18	0,017**	1,625**	0,00000*	1,343**	3,285*	0,00001**
E x T	6	0,006**	5,641**	0,00000ns	0,488ns	1,132ns	0,00002**
T.A x E x T	18	0,002**	0,746**	0,00000ns	0,182 **	3,253*	0,00003**
TRATAMENTO	55	0,316**	31,375**	0,00000**	10,031**	17,467**	0,00002**
RESÍDUO	112	0,0007	0,025	0,00000	0,616	1,810	0,00000
C.V.		3,39	2,18	---	0,42	1,18	0,13

** significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, * significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, ns: não significativo

II.4.3.1 - Índice de acidez

Os índices de acidez do óleo de gergelim extraído para os diferentes teores de água das sementes (2,0, 4,0, 6,0 e 8,0%) ao longo do armazenamento, encontram-se na Tabela II.4.4. Pode-se observar que os menores índices de acidez do óleo de gergelim foram obtidos na fase inicial do armazenamento, para todos os tratamentos utilizados.

Verifica-se, para todos os tratamentos estudados que ocorreu o aumento significativo do índice de acidez ao longo do armazenamento, este aumento foi mais acentuado a partir dos 60 dias de armazenamento. Observa-se ainda, que os maiores índices de acidez foram encontrados para o óleo extraído das sementes de gergelim com teor de água de 8,0%, fato que pode ser atribuído ao conteúdo de água presente nestas sementes, que pode ter acelerado o processo de hidrólise, promovendo uma maior alteração do índice de acidez quando comparado aos demais tratamentos utilizados.

Bordignon (2009) ao estudar a relação das condições de armazenamento com a qualidade fisiológica de sementes e composição do óleo extraído de cultivares de soja, observou que os grãos com elevado grau de teor de água apresentaram os maiores índices de acidez. De acordo com este autor, o processo enzimático de quebra das cadeias de lipídios pelas lípases deve ter liberado grande número de ácidos graxos livres, resultando em um maior índice de acidez.

Ao longo do armazenamento, verificou-se que os índices de acidez do óleo de gergelim mantiveram-se dentro dos padrões de qualidade da legislação para o óleo bruto, conforme a Resolução RDC 270 de 22 de setembro de 2005 (BRASIL, 2005), o valor máximo de acidez permitido para óleos prensados a frio e não refinados de 4,0 mg KOH/g. Os valores máximos obtidos ao final do armazenamento de 0,592, 0,558, 0,920 e 1,449 mg KOH/g, para as sementes tratadas com os teores de água de 2,0, 4,0, 6,0 e 8,0%, respectivamente.

Fuentes (2011) ao avaliar a qualidade de óleos de soja, canola, milho e girassol durante o armazenamento, também verificou o aumento do índice de acidez dos óleos ao longo do tempo.

Tem-se, na Figura II.4.1, os valores médios do índice de acidez dos óleos de gergelim submetidos aos diferentes tratamentos ao longo do armazenamento. De modo geral, observa-se que os óleos apresentaram o incremento do índice de acidez durante o período de armazenamento. Comportamento semelhante foi observado por Vicari (2013) ao avaliar a qualidade de óleo de soja refinado embalado em PET armazenado na presença

e ausência de luz, verificou o aumento do índice de acidez dos óleos de soja em função do tempo de armazenamento.

O índice de acidez revela o estado de conservação do óleo, altos índices de acidez têm efeito negativo sobre a qualidade do óleo, a ponto de torná-lo impróprio para a alimentação humana (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008). Neste estudo, observou-se a partir dos índices de acidez obtidos, que os óleos avaliados permaneceram próprios para o consumo ao longo do armazenamento.

Na Tabela II.4.5 se encontram os valores médios dos índices de acidez do óleo de gergelim, submetidos ao armazenamento com dois tipos de embalagem (na ausência e na presença da luz).

Os índices de acidez dos óleos de gergelim submetidos ao armazenamento na presença da luz, foram inferiores aos valores obtidos para os tratamentos armazenados na ausência da luz, exceto para o óleo extraído com 2% de teor de água que obteve um índice de acidez superior quando armazenado na presença da luz.

Pode-se observar que não houve efeito significativo para o tipo de embalagem utilizado, visto que o índice de acidez obtido para cada tratamento foi semelhante quando comparado ao tipo de embalagem empregado.

Resultado contrário foi obtido por Anwar et al. (2007) ao armazenarem o óleo de soja durante 6 meses, exposto a luz e no escuro, relataram que os maiores índices de acidez foram obtidos para as amostras que permaneceram expostas a luz. Da mesma forma, Costa & Cavallieri (2011) em estudo realizado com óleo de linhaça, também observaram que o óleo exposto à luz sofreu maior alteração do índice acidez em relação ao óleo que permaneceu ao abrigo da luz.

Tabela II.4.4 - Valores médios do índice de acidez do óleo de gergelim, extraído com diferentes teores de água, durante 180 dias de armazenamento

Tratamentos	Armazenamento (dias)						
	0	30	60	90	120	150	180
Óleo de gergelim (2%)	0,496 cC	0,496 Cc	0,494 cC	0,542 cB	0,593Ca	0,592cA	0,592cA
Óleo de gergelim (4%)	0,495 cB	0,495 cB	0,511 cB	0,492dB	0,495dB	0,493dB	0,558cA
Óleo de gergelim (6%)	0,695bC	0,758bB	0,788bB	0,790bB	0,790bB	0,887bA	0,920bA
Óleo de gergelim (8%)	1,121 aE	1,181aD	1,232 aC	1,283 aB	1,293 aB	1,458aA	1,449aA
DMS	Colunas = 0,0401			Linhas = 0,0461			

*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

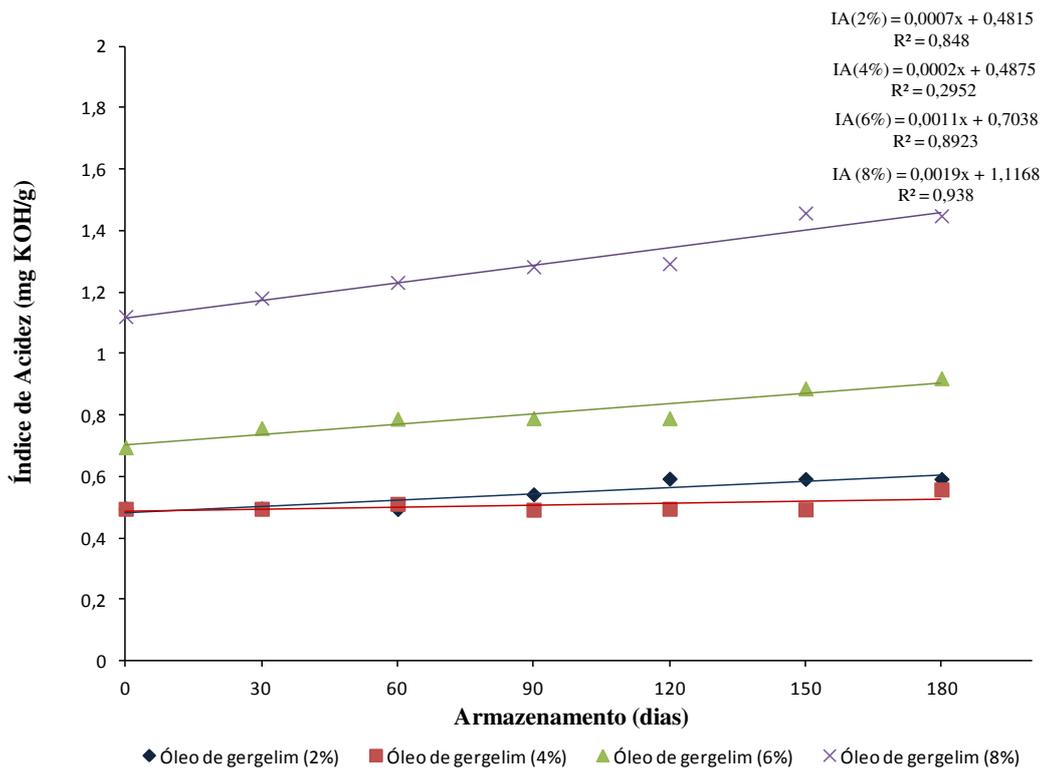


Figura II.4.1- Índice de acidez do óleo de gergelim extraído com diferentes teores de água (2, 4, 6 e 8%), durante 180 dias de armazenamento

Tabela II.4.5 - Valores médios do índice de acidez do óleo de gergelim extraído com diferentes teores de água, armazenados com dois tipos de embalagem durante 180 dias

Tratamentos	Embalagem	
	Presença (Luz)	Ausência (Luz)
Óleo de gergelim (2%)	0,551 Ca	0,536 cA
Óleo de gergelim (4%)	0,503 dA	0,507 dA
Óleo de gergelim (6%)	0,790 bB	0,818 bA
Óleo de gergelim (8%)	1,286 aA	1,291 aA
DMS	Colunas = 0,0214	Linhas = 0,0163

*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

II.4.3.2 - Índice de peróxido

O índice ou teor de peróxidos é um indicador do grau de oxidação do óleo ou gordura. A sua presença é indício de deterioração, que poderá ser verificada com a

mudança do sabor e do odor característicos dos óleos (REDA, 2004). Os valores médios deste parâmetro determinados para o óleo extraído de sementes de gergelim com diferentes teores de água, encontram-se na Tabela II.4.6.

Contatou-se, que ocorreu a elevação do índice de peróxido para todos os óleos avaliados durante o armazenamento, este aumento foi diretamente proporcional à redução do teor de água das sementes de gergelim, onde os maiores índices de peróxido foram obtidos para o óleo de gergelim a 2%, cujo valor máximo obtido foi de 12,792 meq/kg, no período final de avaliação. O nível elevado dos índices de peróxidos, pode ser indício que o óleo recebeu algum tratamento inadequado, o qual favoreceu a oxidação dos ácidos graxos. O processo de secagem requerido para os tratamentos com 2 e 4% de teor de água, pode ter provocado uma oxidação fazendo com que ocorresse a formação de peróxidos.

Carvalho (2011) ao avaliar a estabilidade termo-oxidativa do óleo das sementes de quiabo, observou que o índice de peróxido aumentou de 0,5 para 50,3 meq O₂.kg⁻¹ após 10 dias de armazenamento para amostras sem aditivo. Conforme o autor os resultados do índice de peróxido para as amostras sem antioxidante mostraram que a degradação do óleo foi acelerada pela presença da atmosfera oxidante e do aquecimento.

No período final de armazenamento, aos 180 dias, os óleos de gergelim sofreram uma elevação do índice de peróxido em relação ao período inicial de armazenamento, igual a 39,8, 46,1, 55,8 e 71,5% para os tratamentos 2, 4, 6 e 8% de teor de água, respectivamente. Apesar do óleo de gergelim a 8% ter apresentado índices peróxido inferiores aos demais tratamentos, verifica-se que o maior percentual de crescimento do índice de peróxido foi determinado para este óleo.

Na Figura II.4.2 se observa que os óleos de gergelim tratados com diferentes teores de água, mostraram comportamento semelhante relativo ao índice de peróxido, com tendência de crescimento durante o período de armazenamento. O aumento dos níveis de peróxido é indicativo de mudanças complexas, da formação de compostos de baixo peso molecular, advindos de sua degradação. Estes compostos, aldeídos, cetonas, ácidos, alcoóis e hidrocarbonetos, são os responsáveis pelo sabor e odor característico de produtos rançosos (ARAÚJO, 2004). Fuentes (2011), também constatou o aumento significativo do índice de peróxido para os óleos de soja, canola, milho e girassol ao longo do tempo.

De acordo com os resultados obtidos é possível observar que apesar dos índices de peróxido ter aumentando em função do tempo, as amostras analisadas permaneceram dentro dos padrões exigidos pela legislação brasileira, RDC 270 (BRASIL, 2005), para óleos prensados a frio que deve ser no máximo 15 meq/kg.

Para os óleos de gergelim armazenados sob o efeito de dois tipos de embalagem, verificam-se diferenças significativas em todos os tratamentos avaliados (Tabela II.4.7). Observa-se que os maiores índices de peróxido foram obtidos para os óleos de gergelim armazenados sob a presença da luz, para os tratamentos 2, 4, 6 e 8% de teor de água; esses valores foram, respectivamente, 10,952; 9,257; 7,288 e 4,398 meq/kg. Pode-se dizer, portanto, que a luz exerceu um efeito negativo sobre os óleos, promovendo a formação de peróxidos, conseqüentemente, acelerando o processo de oxidação destes óleos. Para os óleos armazenados sob a ausência da luz, também se constatou a redução dos índices de peróxido com o incremento do teor de água nas sementes de gergelim, entretanto, este tipo de embalagem promoveu uma redução dos índices de peróxido, prolongando a qualidade dos óleos por mais tempo.

Resultado semelhante foi reportado por Costa et al. (2011) ao caracterizarem física e quimicamente o óleo de linhaça no mercado central de Goiânia, observaram que o óleo de linhaça armazenado exposto à luz obteve índice de peróxido superior ao óleo armazenado sob abrigo da luz.

Kucuk & Caner (2005) ao analisarem o armazenamento do óleo de girassol em embalagem PET e vidro, na presença da luz e no escuro durante nove meses, também verificaram maior estabilidade no óleo mantido na embalagem de vidro sob abrigo da luz.

Tabela II.4.6 - Valores médios do índice de peróxido do óleo de gergelim, extraído com diferentes teores de água, durante 180 dias de armazenamento

Tratamentos	Armazenamento (dias)						
	0	30	60	90	120	150	180
Óleo de gergelim (2%)	7,706aD	7,880aD	8,873aC	10,843aB	10,818aB	12,699Aa	12,792aA
Óleo de Gergelim (4%)	5,813bD	5,897bD	7,835bC	8,811bB	8,797bB	10,798bA	10,793bA
Óleo de Gergelim (6%)	3,906cD	3,938cD	5,865cC	6,854cB	6,859cB	8,820Ca	8,848cA
Óleo de Gergelim (8%)	1,963dD	1,965dD	1,966dD	2,614dC	4,915dB	6,854Da	6,879dA
DMS	Colunas = 0,2384			Linhas = 0,2740			

*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

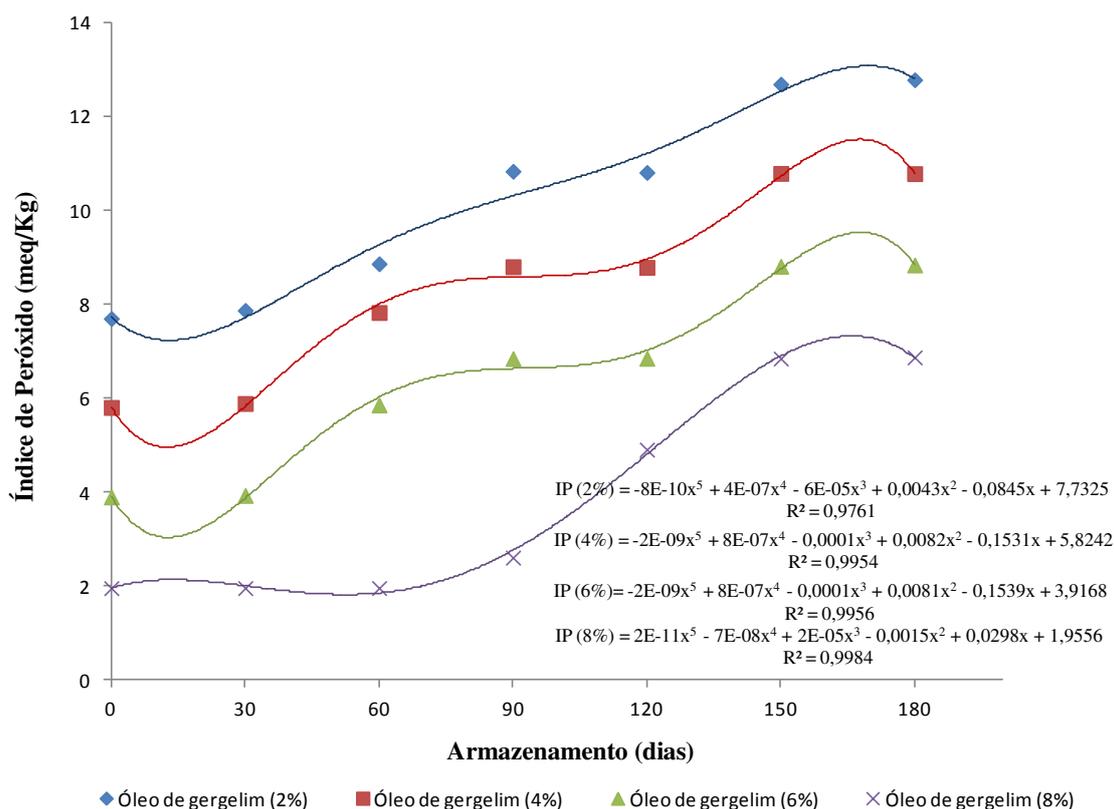


Figura II.4.2 - Índice de peróxido do óleo de gergelim extraído com diferentes teores de água (2, 4, 6 e 8%), durante 180 dias de armazenamento

Tabela II.4.7 - Valores médios do índice de peróxido do óleo de gergelim extraído com diferentes teores de água, armazenados com dois tipos de embalagem durante 180 dias

Tratamentos	Embalagem	
	Presença (Luz)	Ausência (Luz)
Óleo de gergelim (2%)	10,952 aA	9,508 aB
Óleo de gergelim (4%)	9,257 bA	7,527 bB
Óleo de gergelim (6%)	7,288 cA	5,594 cB
Óleo de gergelim (8%)	4,398 dA	3,361 dB
DMS	Colunas = 0,1274	Linhas = 0,0967

*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

II.4.3.3 - Índice de refração

Na Tabela II.4.8, tem-se o índice de refração dos óleos de gergelim para os

diferentes tratamentos utilizados no processo de extração do óleo.

Observa-se a ocorrência de redução do índice de refração dos óleos de gergelim em todos os tratamentos avaliados, no entanto, os valores obtidos foram muito similares durante o armazenamento. O índice de refração do óleo de gergelim no período final de armazenamento, foi de 1,464 para o óleo de gergelim extraído com 8% de teor de água, os demais tratamentos (2, 4 e 6% de teor de água) apresentaram o valor idêntico de 1,463, no período final de armazenamento. Os índices de refração dos óleos estudados, obtidos ao final do armazenamento, apresentaram-se um pouco abaixo do valor mínimo estabelecido pela legislação brasileira (Resolução RDC 270 de 22 de setembro de 2005) para óleo de gergelim de 1,465, entretanto, observa-se que até os 60 dias de armazenamento todos os óleos de gergelim encontravam-se dentro do valor mínimo exigido pela legislação, reduzindo estes índices a partir dos 90 dias de armazenamento.

De modo geral, pode-se dizer que os índices de refração dos referidos óleos apresentaram valores aproximados durante o armazenamento, não sendo possível identificar através deste parâmetro possíveis alterações ocorridas nos óleos de gergelim ao longo do tempo.

Carvalho (2011) ao avaliar a estabilidade termo-oxidativa do óleo das sementes de quiabo, não observou alteração significativa nos valores dos índices de refração dos óleos.

Na Figura II.4.3 se observa que os óleos extraídos de sementes de gergelim com diferentes teores de água, apresentaram comportamento semelhante relativo ao índice de refração, verificou-se comportamento linear, com tendência de redução do índice de refração ao longo do armazenamento. Foi observado um coeficiente de determinação maior para o óleo extraído com 2%, seguido pelo óleo a 6%; óleo a 8%; e o óleo a 4% ($R^2 = 0,88, 0,84, 0,75$ e $0,40$, respectivamente). Verificou-se ainda, que o fator tempo não promoveu uma alteração significativa para os índices de refração dos óleos, visto que os índices obtidos foram muitos semelhantes para todos os tratamentos estudados ao longo do período de armazenamento.

Tabela II.4.8 - Valores médios do índice de refração do óleo de gergelim, extraído com diferentes teores de água, durante 180 dias de armazenamento

Tratamentos	Armazenamento (dias)						
	0	30	60	90	120	150	180
Óleo de gergelim (2%)	1,4652aA	1,4652abA	1,465aAB	1,464aBC	1,464abC	1,464aC	1,463abD
Óleo de gergelim (4%)	1,465aAB	1,465 bAB	1,465aA	1,464aBC	1,464abC	1,464 aC	1,463bD
Óleo de gergelim (6%)	1,465 aA	1,465 aA	1,465aAB	1,464aBC	1,464bCD	1,464aCD	1,463abD
Óleo de gergelim (8%)	1,465aA	1,465aA	1,465aA	1,464aBC	1,464aB	1,464aC	1,464aC
DMS	Colunas = 0,0006			Linhas = 0,0007			

*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

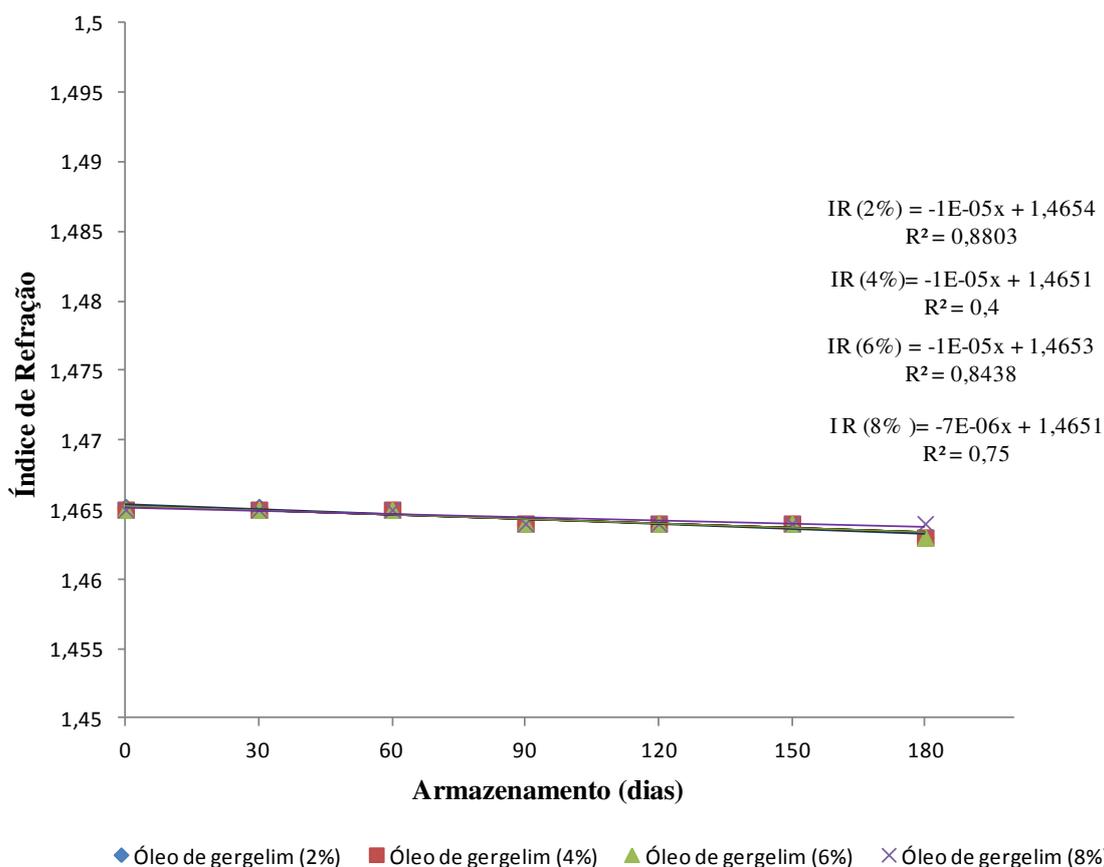


Figura II.4.3 - Índice de refração do óleo de gergelim extraído com diferentes teores de água (2, 4, 6 e 8%), durante 180 dias de armazenamento

II.4.3.4 - Índice de saponificação

Os índices de saponificação do óleo de gergelim extraído para os diferentes teores de água das sementes (2,0, 4,0, 6,0 e 8,0%) ao longo do armazenamento, encontram-se na Tabela II.4.9.

A análise deste parâmetro no presente estudo indica que houve uma redução deste índice com o decorrer do período de armazenamento, fato este observado para todos os tratamentos avaliados. Os maiores índices de saponificação foram obtidos para o óleo extraído das sementes de gergelim com 2% de teor de água, sendo o valor máximo de 193,79 KOH/g, determinado no período inicial de armazenamento. De acordo com Moretto & Fett (1998) o índice de saponificação dos triacilgliceroís neutros varia com a natureza dos ácidos graxos constituintes, ou seja, quanto menor for o peso molecular maior será o índice de saponificação.

Os valores dos índices de saponificação dos óleos obtidos para os diferentes tratamentos, encontram-se dentro dos limites determinados pela legislação (BRASIL, 2005) para o óleo de gergelim (187 - 195 KOH/g) durante os 120 dias de armazenamento, havendo uma pequena redução deste valor a partir dos 150 dias, no período final da avaliação os índices obtidos foram de 186,83, 186,60, 186,07 e 185,81 KOH/g, para os tratamentos 2, 4, 6, e 8%, respectivamente. Ramos e San Gil (2010) ao caracterizarem quimicamente o óleo de gergelim, obtiveram valores inferiores aos reportados neste estudo, com índices de 174,92 KOH/g (sementes *in natura*) e de 168,1 KOH/g (sementes tostadas).

Fonseca (2011) ao avaliar a qualidade e o estudo cinético do óleo de gergelim sob estresse termoxidativo, encontrou uma variação do óleo de gergelim de 183,70 a 225,25 KOH/g, conforme o aumento do tempo de exposição do óleo ao processo de termoxidação.

De acordo com a Figura II.4.4 observa-se que houve uma redução significativa dos índices de saponificação dos óleos para todos os tratamentos, esta diminuição ocorreu linearmente com o aumento do período de armazenamento. O óleo extraído das sementes de gergelim com 8% de teor de água apresentaram perdas intensas de ordem linear para o índice de saponificação, cujos valores foram inferiores aos demais tratamentos, desde o período inicial de avaliação.

Observa-se ainda, que a redução dos índices de saponificação dos óleos foi diretamente proporcional ao aumento do teor de água das sementes de gergelim. Resultado semelhante foi reportado por Oliveira et al. (2011) ao caracterizarem físico-quimicamente os co-produtos (óleo e torta) do gergelim cv. CNPA-G4, verificaram que o índice de saponificação do óleo obtido a partir das sementes de gergelim tostadas foi superior ao valor determinado para as sementes *in natura*.

Tabela II.4.9 - Valores médios do índice de saponificação do óleo de gergelim, extraído com diferentes teores de água, durante 180 dias de armazenamento

Tratamentos	Armazenamento (dias)						
	0	30	60	90	120	150	180
Óleo de gergelim (2%)	193,79aA	190,71aB	190,18aBC	189,12aCD	188,35 aDE	187,71aEF	186,83aF
Óleo de gergelim (4%)	191,54bA	189,82abB	189,28aBC	188,38abCD	187,91abDE	187,38abDE	186,60aE
Óleo de gergelim (6%)	190,29cA	189,83 bA	189,01abAB	188,12abBC	187,48abCD	186,75abDE	186,07aE
Óleo de gergelim (8%)	190,04cA	189,40 bA	187,95bB	187,57 bBC	187,11bBCD	186,30 bCD	185,81aD
DMS	Colunas = 1,1832			Linhas = 1,3598			

*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

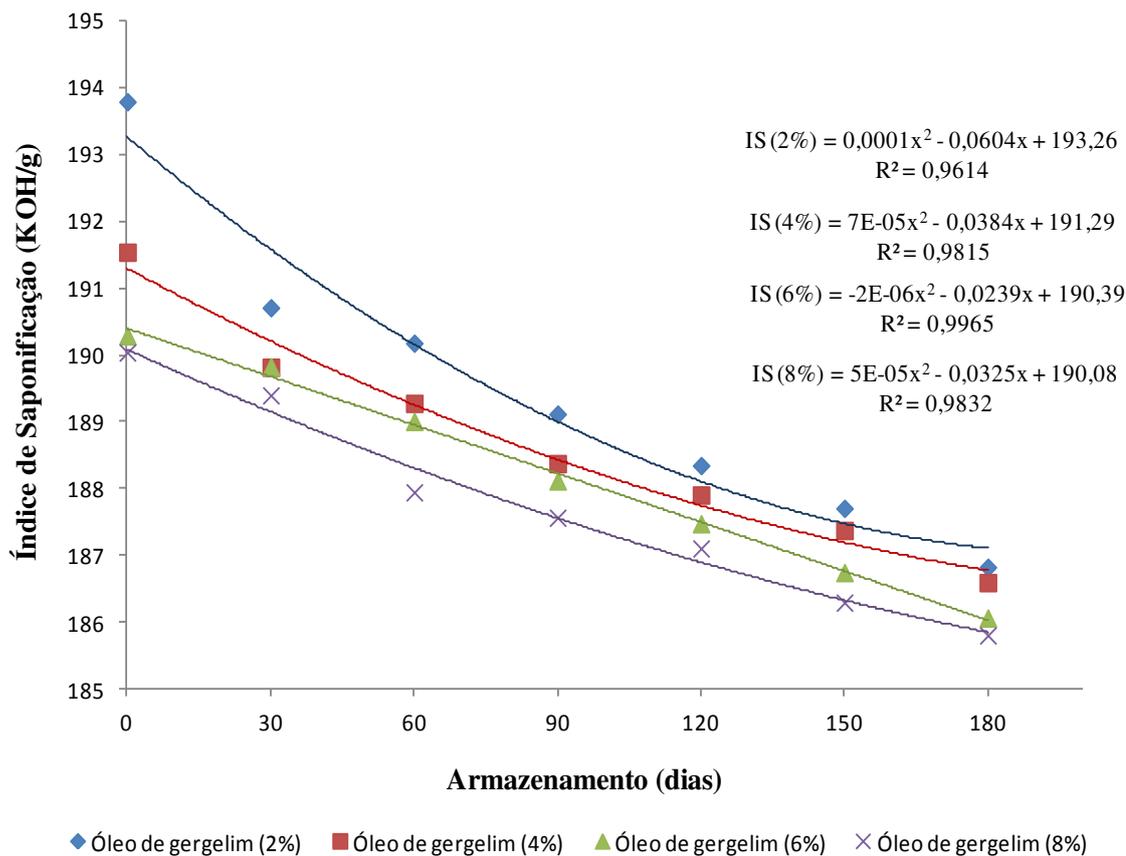


Figura II.4.4 - Índice de saponificação do óleo de gergelim extraído com diferentes teores de água (2, 4, 6 e 8%), durante 180 dias de armazenamento

II.4.3.5 - Índice de Iodo

Na Tabela II.4.10 tem-se o índice de iodo do óleo extraído de sementes de gergelim tratadas com diferentes teores de água, na qual observa-se que existem diferenças estatísticas entre os tratamentos durante o armazenamento, sendo o índice de iodo afetado significativamente pela interação entre esses fatores.

No 1º dia de avaliação, verificou-se que os óleos obtidos dos tratamentos 2, 4 e 6% de teor de água, não diferiram significativamente; entretanto, tiveram médias inferiores para o índice de iodo quando comparados ao óleo de gergelim extraído com 8%. Constatou-se ainda, que os óleos dos tratamentos 2 e 8% tenderam a apresentar índices mais elevados que os demais tratamentos no decorrer do armazenamento.

No período final de armazenamento, aos 180 dias, os índices de iodo dos óleos de gergelim reduziram até os valores de 111,12, 111,45, 109,60 e 113,35 (Wijs) para os tratamentos 2, 4, 6 e 8% de teor de água, respectivamente. Esta redução observada ao

longo do armazenamento para todos os tratamentos avaliados, possivelmente ocorreu devido à redução do grau de instauração das gorduras presentes nestes óleos.

Os resultados obtidos neste trabalho se assemelham aos encontrados por Anwar; Chatha; Hussain (2007), uma vez que os autores observaram a diminuição significativa do índice de iodo em óleo de soja durante os 180 dias de armazenamento.

De acordo com a Resolução RDC 270 de 22 de setembro de 2005, o valor do índice de iodo para o óleo de gergelim deve limitar-se entre 104,0 a 120,0 (Wijs). Nesse aspecto, todos os óleos avaliados neste estudo encontram-se dentro dos padrões de qualidade para consumo humano.

Na Figura II.4.5 se encontra a redução do índice de iodo dos óleos para todos os tratamentos em função do período de armazenamento. O óleo obtido do tratamento a 6% apresentou perdas intensas para o índice de iodo, cujos valores foram inferiores aos demais tratamentos, desde o período inicial de avaliação. Observa-se que os índices de iodo do óleo tratado com 8%, foram superiores aos demais tratamentos durante o armazenamento; quanto maior for o valor determinado para este índice, maior será o grau de insaturação (MORETTO & FETT, 1998). De acordo com Maia (2006) o grau de insaturação pode variar em função de aspectos ligados a sazonalidade da oleaginosa ou em função de diferentes tipos de processamento do óleo.

Fonseca (2011) também constatou a redução do índice de iodo durante o tempo em que o óleo de gergelim foi submetido ao processo de termoxidação.

O índice de iodo do óleo de gergelim obtido através de diferentes tratamentos, submetidos ao armazenamento com dois tipos de embalagem, encontram-se na Tabela II.4.11.

Os óleos de gergelim que foram acondicionados em embalagem exposta a luz, obtiveram um aumento do índice de iodo proporcional ao aumento do teor de água das sementes. Observa-se ainda, que os óleos de gergelim armazenados na presença da luz obtiveram valores superiores para o índice de iodo, quando comparados aos óleos armazenados na ausência da luz, exceto para o tratamento a 2%.

Com o decorrer do período de armazenamento, inevitavelmente o óleo iniciará o processo de degradação, entretanto, analisando este parâmetro percebe-se que todos os óleos avaliados, independente da embalagem utilizada mantiveram os índices de iodo em concordância com os limites exigidos pela legislação brasileira.

Tabela II.4.10 - Valores médios do índice de iodo do óleo de gergelim, extraído com diferentes teores de água, durante 180 dias de armazenamento

Tratamentos	Armazenamento (dias)						
	0	30	60	90	120	150	180
Óleo de gergelim (2%)	114,61bA	114,25 bA	113,46 bA	113,32bAB	112,88bAB	112,60abAB	111,12 bB
Óleo de gergelim (4%)	114,50bA	113,87bAB	113,07bABC	112,67bABC	113,34bABC	111,86 bBC	111,45abC
Óleo de gergelim (6%)	113,91bA	112,25bA	112,90 bA	111,94 bAB	112,19 bA	112,40 bA	109,60bB
Óleo de gergelim (8%)	119,57aA	118,92aAB	117,22aBC	116,26 aCD	115,57aCDE	114,58 aDE	113,35 aE
DMS	Colunas = 2,0285			Linhas = 2,3313			

*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

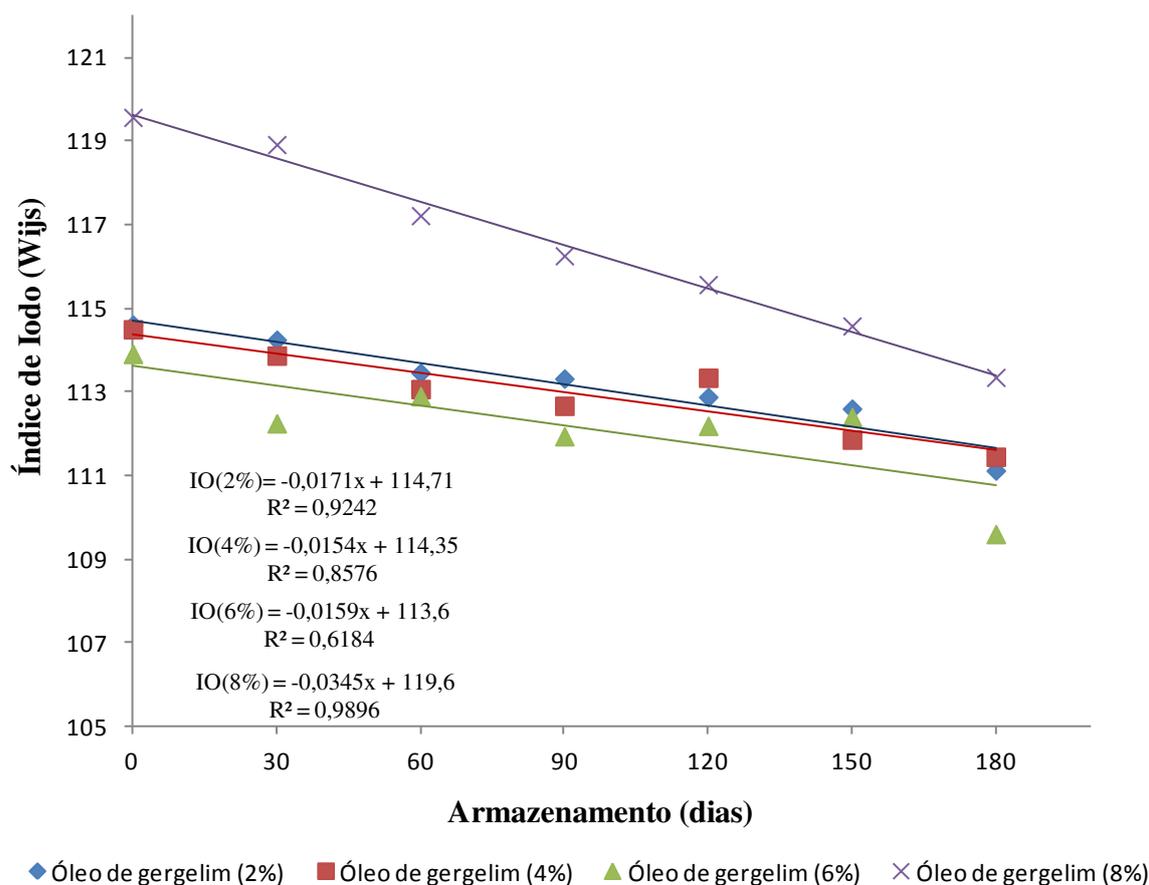


Figura II.4.5 - Índice de iodo do óleo de gergelim extraído com diferentes teores de água (2, 4, 6 e 8%), durante 180 dias de armazenamento

Tabela II.4.11 - Valores médios do índice de iodo do óleo de gergelim extraído com diferentes teores de água, armazenados com dois tipos de embalagem durante 180 dias

Tratamentos	Embalagem	
	Presença (Luz)	Ausência (Luz)
Óleo de gergelim (2%)	113,08 bA	113,28 bA
Óleo de gergelim (4%)	113,12 bA	112,81 bA
Óleo de gergelim (6%)	113,55 bA	110,78 cB
Óleo de gergelim (8%)	117,17 aA	115,82 aB
DMS	Colunas = 1,0843	Linhas = 0,8226

*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

II.4.3.6 - Densidade

Na Tabela II.4.12 se encontram os valores da densidade do óleo de gergelim extraído com diferentes teores de água. Observam-se, ao longo do armazenamento, oscilações no parâmetro densidade, em todos os tratamentos, iniciando-se com tendência de queda até os 60 dias de armazenamento, seguido de um aumento aos 90 dias de armazenamento, verificou-se, então, uma tendência de redução até o período final do armazenamento. O óleo de gergelim a 4% mostrou um maior retardo do parâmetro densidade quando comparado aos demais tratamentos, cujo fato demonstra que este óleo manteve o grau de insaturação elevado, durante o armazenamento. De acordo com Ribeiro & Seravalli (2004) os óleos vegetais tem a maior parte de sua composição formada por triacilgliceróis, para esses a densidade é tanto menor quanto menor for sua massa molecular e mais alto seu grau de insaturação.

No final do armazenamento, foram obtidos os seguintes valores para a densidade 0,9188; 0,9150; 0,9181 e 0,9171, para os óleos de gergelim extraído com os teores de água de 2, 4, 6 e 8%, respectivamente. O óleo de gergelim a 8% manteve os maiores níveis de densidade, por um intervalo de tempo superior aos demais tratamentos, ao longo do período de armazenamento, fato que pode ser atribuído ao conteúdo de água mais elevado nestas sementes, que pode ter influenciado na elevação dos valores deste parâmetro.

Almeida et al (2013) ao caracterizarem físico-quimicamente misturas de óleos vegetais para fins alimentares, reportaram para o óleo de gergelim a densidade de 0,9175, cujo valor encontra-se dentro da faixa de variação obtida para a densidade dos diferentes óleos de gergelim avaliados durante este estudo.

Todos os óleos avaliados neste estudo, mantiveram-se dentro dos padrões exigidos pela legislação brasileira (BRASIL, 2005) para a densidade do óleo de gergelim, cujo valor deve encontrar-se na faixa de 0,915 a 0,923 a 20 °C, o valor mínimo obtido para a densidade neste trabalho foi de 0,9150 para o óleo de gergelim a 4% no período final de avaliação, e o valor máximo foi de 0,9216 para o óleo de gergelim a 6% na fase inicial do armazenamento.

Tem-se, na Figura II.4.6, os valores médios da densidade do óleo de gergelim obtido com diferentes tratamentos (2, 4, 6 e 8% teor de água) ao longo do armazenamento. Observa-se que esses óleos apresentaram irregularidade para os valores da densidade, oscilando durante o período de armazenamento.

Os óleos de gergelim tratados com 6% e 8% de teor de água apresentaram valores mais elevados do parâmetro densidade no início do armazenamento; apesar disto, com o avanço do período de armazenamento, tenderam a se aproximar dos valores dos óleos de gergelim tratados com 2 e 4%. A partir dos 90 dias de armazenamento as médias dos tratamentos tenderam a reduzir significativamente alcançando, aos 180 dias, valores inferiores ao período inicial do armazenamento.

Corso (2008) ao realizar o estudo da extração de óleo gergelim empregando os solventes dióxido de carbono supercrítico e n-propano pressurizado, observou que a densidade do óleo de gergelim reduziu em função do aumento da temperatura, com valor máximo obtido de 0,880, para o óleo de gergelim extraído com CO² supercrítico.

Observam-se, na Tabela II.4.13, que os valores médios da densidade dos óleos estudados não diferiram significativamente, independente do tipo de embalagem utilizado, exceto para o óleo de gergelim a 4%, que apresentou uma pequena redução deste parâmetro, diferindo-se dos demais tratamentos.

Analisando os resultados, verifica-se que não houve efeito significativo para o tipo de embalagem utilizado, visto que os valores da densidade dos óleos estudados foram semelhantes não diferindo estatisticamente em função do tipo de embalagem empregado.

Os valores da densidade dos óleos de gergelim encontram-se dentro dos padrões preconizados pela legislação brasileira, para as diferentes condições de armazenamento na presença ou ausência da luz.

Tabela II.4.12 - Valores médios da densidade do óleo de gergelim, extraído com diferentes teores de água, durante 180 dias de armazenamento

Tratamentos	Armazenamento (dias)						
	0	30	60	90	120	150	180
Óleo de gergelim (2%)	0,9195 bA	0,9192 bA	0,9195Aa	0,9197aA	0,9194 aA	0,9182abA	0,9188aA
Óleo de gergelim (4%)	0,9201abA	0,9191 bA	0,9165 bB	0,9192 aA	0,9158 bB	0,9168 bB	0,9150bB
Óleo de gergelim (6%)	0,9216 Aa	0,9215 aA	0,9168 bC	0,9196aAB	0,9179aBC	0,9192 aB	0,9181aBC
Óleo de gergelim (8%)	0,9203abA	0,9188bAB	0,9197 aA	0,9205 aA	0,9196 aA	0,9192 aA	0,9171 aB
DMS	Colunas = 0,0018			Linhas = 0,0020			

*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

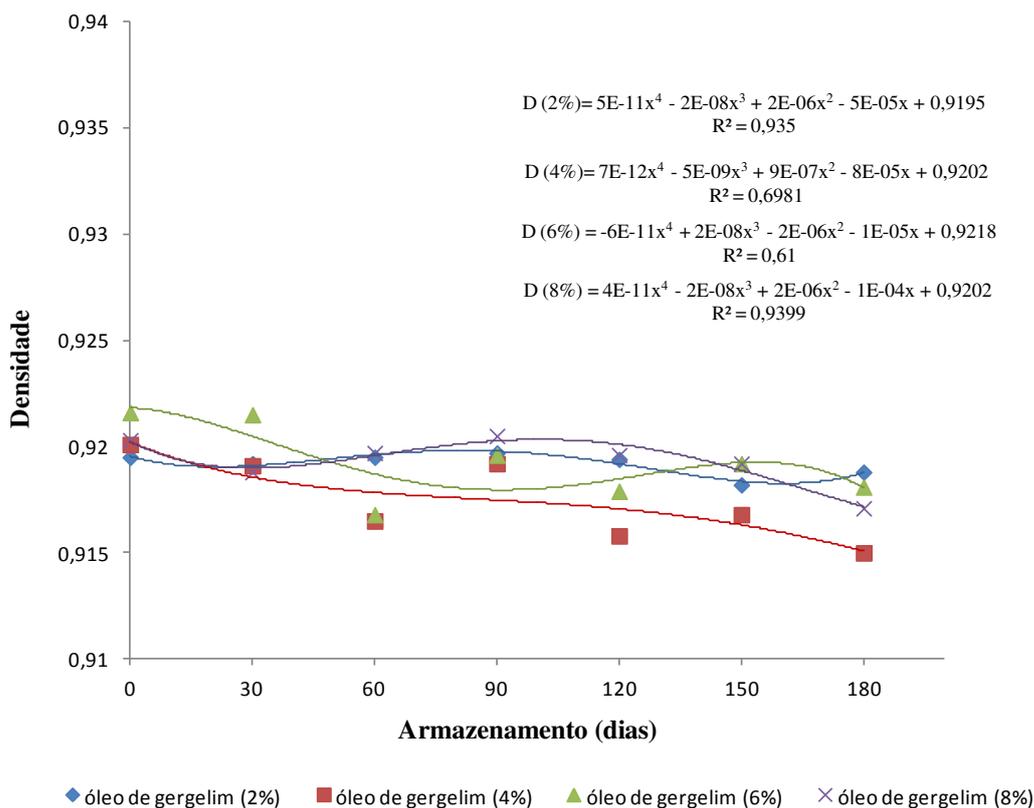


Figura II.4.6 - Densidade do óleo de gergelim extraído com diferentes teores de água (2, 4, 6 e 8%), durante 180 dias de armazenamento

Tabela II.4.13 - Valores médios da densidade do óleo de gergelim extraído com diferentes teores de água, armazenados com dois tipos de embalagem durante 180 dias

Tratamentos	Embalagem	
	Presença (Luz)	Ausência (Luz)
Óleo de gergelim (2%)	0,9195 aA	0,9188 aA
Óleo de gergelim (4%)	0,9179 bA	0,9171 bA
Óleo de gergelim (6%)	0,9189 aA	0,9196 aA
Óleo de gergelim (8%)	0,9192 aA	0,9194 aA
DMS	Colunas = 0,0009	Linhas = 0,0007

*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

II.4.4 - Calorimetria diferencial de varredura do óleo de gergelim

Na Figura II.4.7 tem-se as curvas de DSC obtidas para o óleo de gergelim extraído de sementes com diferentes teores de água, armazenados sob a exposição da luz por 180 dias. Como pode ser observado na Figura II.4.7A, o óleo de gergelim a 2% apresenta uma reação exotérmica no intervalo de temperatura de 240 a 252°C. A curva DSC do óleo de gergelim a 4% apresentou apenas uma transição exotérmica, com intervalo de temperatura entre 231 a 250°C (Figura II.4.7 B), os óleos de gergelim extraídos a 2 e 4% mantiveram a estabilidade térmica até 230 °C, sendo superior a temperatura máxima utilizada para fritura de alimentos.

Na curva DSC do óleo de gergelim a 6% (Figura II.4.7 C), pode-se observar que ocorreram quatro picos exotérmicos. O primeiro pico corresponde ao intervalo de temperatura entre 79 a 100°C, o segundo pico ocorre entre 132 e 158°C, o terceiro pico ocorre no intervalo de 172 a 208 °C. O quarto representa o maior pico exotérmico deste óleo, cujo intervalo de temperatura ocorreu entre 231 a 250°C, os vários picos exotérmicos observados nesta curva, sugerem que houve a degradação do óleo durante a análise térmica.

Na Figura II.4.7 D, pode-se observar que a curva do óleo de gergelim a 8% obteve duas etapas de reação exotérmica, a primeira etapa ocorre entre as temperaturas de 178 a 216°C, já a segunda etapa ocorre no intervalo de 231 a 250 °C.

Para todas as amostras de óleo avaliadas, verificou-se que o pico exotérmico máximo corresponde ao intervalo de temperatura entre 230 a 252°C, tal fato demonstra que independente do tratamento utilizado o processo de oxidação do óleo de gergelim ocorreu na mesma faixa de temperatura. Resultado semelhante foi encontrado por Jayadas e Nair (2006) ao avaliarem a estabilidade térmica e oxidativa do óleo de coco. Os autores constataram que a degradação oxidativa do óleo de gergelim ocorreu em torno de 246 °C.

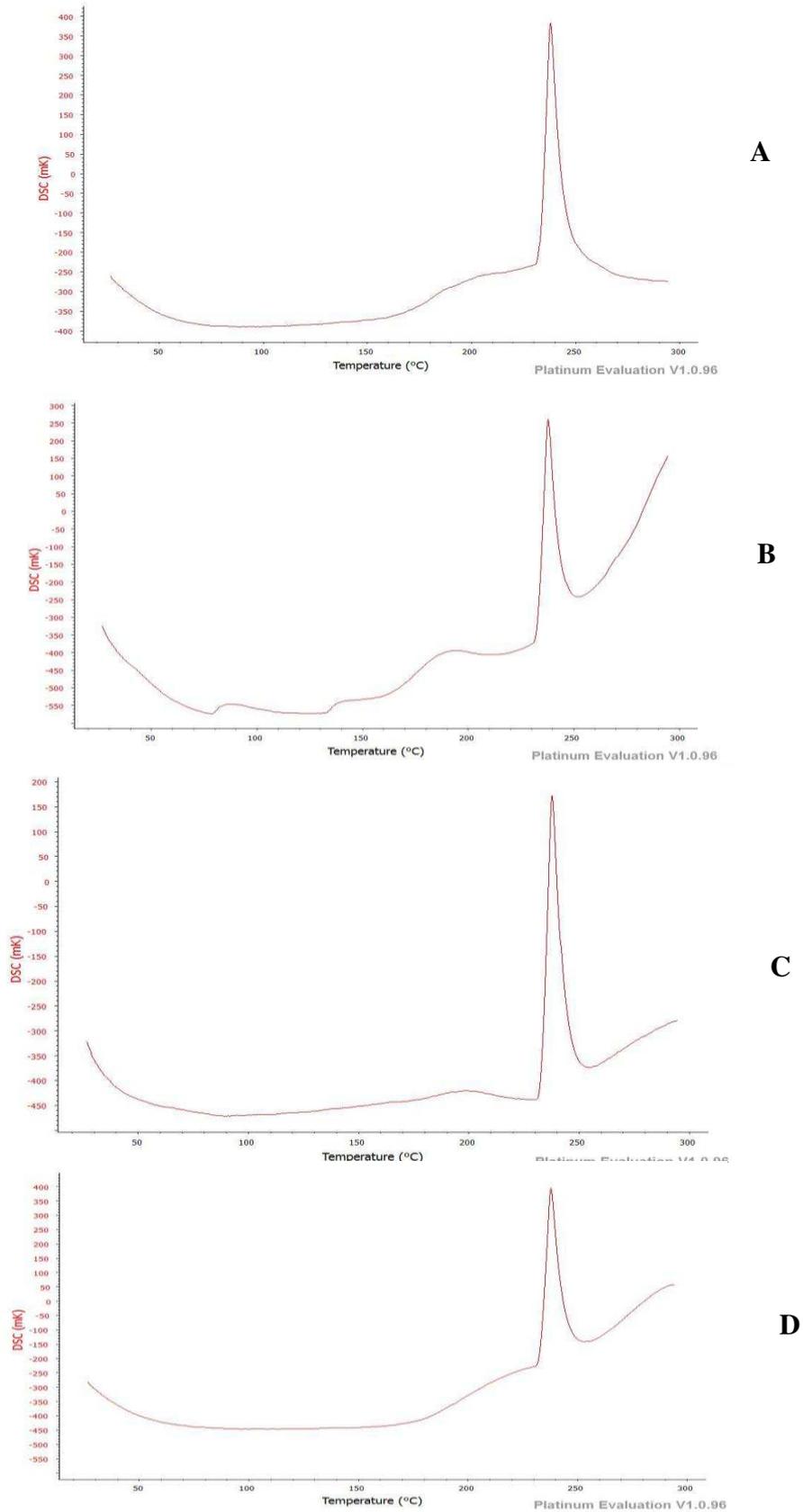


Figura II.4.7 - Curva oxidativa por calorimetria de varredura a 300°C de óleo de gergelim após 180 dias de armazenamento exposto a luz, (A) Óleo de gergelim extraído a 2%, (B) Óleo extraído a 4%, (C) Óleo extraído a 6% e (D) Óleo extraído a 8% de teor de água

Na Figura II.4.8 encontram-se as curvas DSC do óleo gergelim extraído com diferentes teores de água, após 180 dias de armazenamento na ausência da luz.

A curva DSC para a amostra de óleo de gergelim a 2% apresenta duas transições exotérmicas. O primeiro evento ocorre no intervalo de temperatura de 182 a 215 °C, o segundo pico exotérmico corresponde à faixa de temperatura de 231 a 252 °C, onde ocorre a decomposição principal do óleo (Figura II.4.8 A).

Observa-se na curva DSC para a amostra de óleo de gergelim a 4% (Figura II.4.8 B), que ocorreram três reações exotérmicas. A primeira etapa corresponde ao intervalo de 185 a 214 °C, na segunda etapa obteve-se o maior pico exotérmico, situado na faixa de temperatura de 230 a 251°C; já a última etapa ocorreu entre 264 a 279 °C.

Na Figura II.4.8 C, pode-se observar que a curva do óleo de gergelim a 6% obteve duas etapas de reação exotérmica, a primeira etapa ocorre entre as temperaturas de 32 a 48°C, já a segunda etapa ocorre no intervalo de 231 a 250 °C.

Na curva DSC do óleo de gergelim a 8% (Figura II.4.8 D), pode-se observar que ocorreram três picos exotérmicos. O primeiro pico corresponde ao intervalo de temperatura entre 192 a 218 °C, o segundo representa o maior pico exotérmico, referente à decomposição principal do óleo, cujo intervalo de temperatura ocorreu entre 232 e 251°C. O terceiro ocorreu entre 270 a 291°C, com a conseqüente carbonização do óleo.

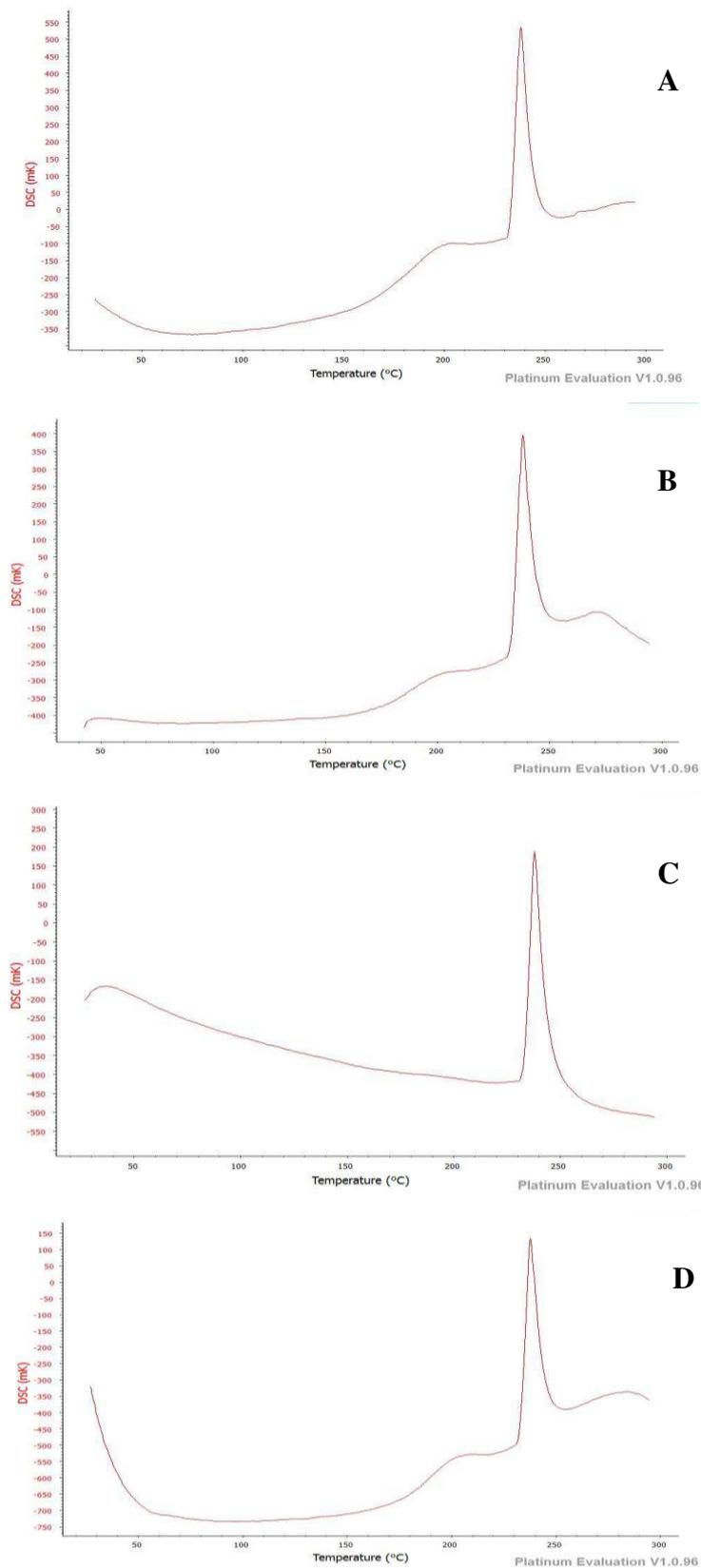


Figura II.4.8 - Curva oxidativa por calorimetria de varredura a 300°C de óleo de gergelim após 180 dias de armazenamento sob abrigo da luz, (A) Óleo de gergelim extraído a 2%, (B) Óleo extraído a 4%, (C) Óleo extraído a 6% e (D) Óleo extraído a 8% de teor de água

II.5 - CONCLUSÕES

Neste trabalho de investigação, pode-se concluir que:

- A extração do óleo de sementes de gergelim é reduzido em função do aumento do teor de água das sementes, e o maior rendimento de extração foi de 42,34% obtido para as sementes de gergelim com teor de água de 2%.
- Apesar do índice de acidez dos óleos de gergelim terem aumentado em função do período de armazenamento, eles mantiveram-se próprios para o consumo, com valores máximos de 0,592; 0,558; 0,920 e 1,449 mg KOH/g, para os teores de água de 2,0; 4,0; 6,0 e 8,0%b.u., respectivamente.
- O índice de peróxido aumentou para todos os óleos avaliados durante o armazenamento, e este aumento é diretamente proporcional à redução do teor de água das sementes de gergelim; e o maior índice de peróxido foi de 12,792 meq/kg, obtido para o óleo de gergelim com um teor de água de 2%, no período final do seu armazenamento.
- Os índices de iodo, refração e a densidade, sofreram pequenas alterações que não acarretaram em modificações das características dos óleos de gergelim, durante o período de armazenamento.
- Todas as amostras de óleo analisadas tanto expostas à luz, quanto na ausência da luz, permaneceram dentro dos padrões exigidos pela legislação para este produto, ao longo do armazenamento.
- Pelas curvas obtidas do calorímetro diferencial de varredura (DSC) constatou-se que os processos de degradação do óleo de gergelim, independente do tratamento e da embalagem utilizada, foram exotérmicos e apresentaram o processo oxidativo na mesma faixa de temperatura, entre 230 e 250 °C.

II.6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, E. C.; BORA, P. S. ; BARBOSA, E. C. A. **Caracterização físico-química de óleo de sementes de dois cultivares de algodão colorido (*Gossypium hirsutum l.*)** I JORNADA NACIONAL DA AGROINDÚSTRIA. Bananeiras, 17 a 20 de outubro de 2006.

ALMEIDA, K. M. DE; MEDEIROS, E. P. DE; GOMES, J. P.; SOUSA, E. P. DE; SANTOS, J. W. DOS. Caracterização físico-química de misturas de óleos vegetais para fins alimentares. **Revista Verde**, Mossoró-RN, v. 8, n. 1, p. 218-222, jan/mar de 2013.

ALMEIDA, K. V. DE; SOUZA, W. J. B. DE; RIBEIRO FILHO, N. M; QUEIROGA, V. DE P. Caracterização físico-química de sementes de gergelim. In: Congresso Químico do Brasil,1, 2010, João Pessoa, **Anais...**, João Pessoa-PB, 2010.

ANTONIASSI, R. **Métodos de avaliação da estabilidade oxidativa de óleos e gorduras.** Boletim Ceppa, Curitiba, v. 19, n. 2, p. 353-380, jul./dez. 2001.

ANTONIASSI, R.; SOUZA, D. F. S. Composição, Processamento e Atividade Antioxidante. In.: BELTRÃO, N.E.M.; VIEIRA, D. J. (Ed.). **O agronegócio do gergelim no Brasil.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Campina Grande: EMBRAPA Algodão, 2001. p.247-284.

ANWAR, F.; CHATHA, S. A. S.; HUSSAIN, A. I. Assessment of oxidative deterioration of soybean oil at ambient and sunlight storage. **Grasas Y Aceites**, v. 58, n. 4, p. 390-395, 2007.

AOCS - American Oil Chemist's Society., Champaign: Illinois, 5th ed., 1998. 1200p.

ARAÚJO, J. M. A. **Química de Alimentos: teoria e prática**, 3. ed., Viçosa: Ed. UFV, 2004.

ARRIEL, N.H.; DI MAURO, A.O.; ARRIEL, E.F.; UNEDA-TREVISOLI, S.H.; COSTA, M.M., BARBARO, I.M.; MUNIZ, F.R. Genetic divergence in sesame based on morphological and agronomic traits. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.7, n3, p.253-261. 2007.

BELTRÃO, N.E.M.; FREIRE, E.C.; LIMA, E.F. **Gergelim cultura no trópico semi-árido nordestino**. EMBRAPA-CNPA, Campina Grande. 1994. 52p. (Circular Técnica, 18).

BELTRÃO, N. E. de M.; VIEIRA, D. J.(Ed.). **O agronegócio do gergelim no Brasil**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2001, p. 247-284.

BRASIL. ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC/ANVISA/MS nº 270, de 22 setembro de 2005. Regulamento técnico para óleos vegetais, gorduras vegetais e creme vegetal. **Diário Oficial** da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 23 set. 2005. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/82d8d2804a9b68849647d64600696f00/RDC_n_270.pdf?MOD=AJPERES. Acesso em: 18/01/2015.

BRASIL. ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 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, p. 82 - 87, 1999. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/a2190900474588939242d63fbc4c6735/RDC_482_1999.pdf?MOD=AJPERES. Acesso em: 05/12/2014.

BORDIGNON, B. C. S. **Relação das condições de armazenamento com qualidade fisiológica de sementes e composição do óleo extraído de cultivares de soja**. 2009. 90 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

CARVALHO, M. L. B. de. **Avaliação da estabilidade termo-oxidativa do óleo das sementes de quiabo (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench)**. 2011. 87 f. Dissertação (Mestrado em Química). Centro de Ciências Exatas e da Natureza da Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa – PB.

CAVALCANTI MATA, M.E.R.M.; DUARTE, M.E.M.; KROSS, R. **Obtenção de óleo virgem de diversas sementes por extrusão**. Projeto de Pesquisa. Campina Grande. 2010. 85p.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2. ed. Campinas: Editora Unicamp, 2003.

CORSINI, M. S.; JORGE, N. Estabilidade oxidativa de óleos vegetais utilizados em frituras de mandioca palito congelada. **Ciênc. Tecnol. Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 1, mar. 2006.

CORSO, M.P. **Estudo da extração de óleo de sementes de gergelim (*Sesamun indicum* L.) empregando os solventes dióxido de carbono supercrítico e n-propano pressurizado**. 2008. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste, Toledo-PR, 2008.

COSTA, A. L. M.; CAVALLIERI, Â. L. F. ; Brasil, R. V. ; Gonçalvez, M. A. B. Caracterização física e química do óleo de linhaça comercializado no mercado central de Goiânia - GO. In: VIII - Congresso de Pesquisa, Ensino e Extensão da UFG (Conpeex)- Seminário de Iniciação Científica da UFG - PIBIC, 2011, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 2011.

EMBRAPA ALGODÃO. **Cultivo do Gergelim: apresentação do produto**. Campina Grande, 2006. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Gergelim/CultivodoGergelim/composicaoquimica.html>. Acesso em: 21 de dezembro 2014.

EMBRAPA ALGODÃO. **Gergelim: apresentação do produto**. Campina Grande, 2003. Disponível em: <http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/gergelim/apresentacao.html>. Acesso em: 6 de novembro 2014.

FARONI, L. R. A.; ALENCAR, E. R. DE; PAES, J. L.; COSTA, A. R. DA; ROMA, R. C. C. Armazenamento de soja em silos tipo bolsa. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, mar. 2009.

FIRMINO, P. de T. GERGELIM: sistemas de produção e seu processo de verticalização, visando a produtividade no campo e melhoria da qualidade da alimentação humana, Campina Grande: **Embrapa-CNPA**, 1996. (Prêmio Jovem Cientista).

FIRMINO, P. de T.; SOUZA, W. J. B. de.; SILVA, A. C.; ALMEIDA, K. V. de.; TEOTÔNIO, M. A.; QUEIROGA, V. DE P. Estudo das sementes de gergelim brs seda orgânicas produzidas no sertão piauiense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 4.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 1., 2010, João Pessoa. Inclusão social e energia: **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2010.

FONSECA, F. A. **Avaliação da qualidade e estudo cinético de óleo de gergelim sob estresse termoxidativo por espectroscopia de UV e RMN de H^1 e C^{13}** . 2011. 88f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa.

FUENTES, P. H. A. **Avaliação da qualidade de óleos de soja, canola, milho e girassol durante o armazenamento**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos). 2011. 109 f. Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 4.ed. Normas analíticas do instituto Adolfo Lutz. São Paulo. v.1, 2008. 1020p.

JAYADAS, N. H.; NAIR, K. P. Coconut oil as base oil for industrial lubricants – evaluation and modification of thermal, oxidative and low temperatures properties. **Tribology Internacional**, 39, p. 873-878, 2006.

KIMBONGUILA, A.; SILOU, T.H.; LINDER, M.; DESOBRY, S. Chemical composition on the seeds and oil of sesame (*Sesamum indicum* L.) grown in Congo-Brazzaville. **Advance Journal of Food Science and Technology**, v.1, p.6-11, 2009.

KOBORI, C. N.; JORGE, N. Caracterização dos óleos de algumas sementes de frutas como aproveitamento de resíduos industriais. **Revista Ciência Agrotécnica**, Lavras, MG, v. 29, n. 5, p. 1008-1014, set./out., 2005.

KUCUK, M.; CANER, C. Effect of Packaging Materials and Storage Conditions on Sunflower Oil Quality. **J Food Lipids**, v. 12, n. 3, p. 222-231, 2005.

LAWSON, H. **Food oils and fats: technology, utilization and nutrition**. New York: Chapman & Hall, 1995.

LEE, J.; LEE, Y.; CHOE, E. Effects of sesamol, sesamin, and sesamolin extracted from roasted sesame oil on the thermal oxidation of methyl linoleate. **LWT – Food science and technology**, v. 41, n. 10, p. 1871-1875, 2008.

MAIA, E.L. Material Didático Teórico. **Tecnologia do Pescado I**, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

MEDRANO, M. F. **Avaliação da sustentabilidade do biodiesel de soja no Brasil**. 2007. 98f. Dissertação (Mestrado em Política e Gestão Ambiental)–Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

MENDONÇA, M. A.; BORGIO, L. A.; ARAÚJO, W. M. C.; NOVAES, M. R. C. G. Alterações físico-químicas em óleos de soja submetidos ao processo de fritura em unidades de produção de refeição no distrito federal Com. **Ciências Saúde**. v.19, n.2, p.115-122, 2008.

MORETTO, E.; FETT, R. **Tecnologia de Óleos e Gorduras Vegetais na Indústria de Alimentos**. São Paulo: Varela, 1998. 150 p.

MORETTO, E.; FETT, R.; GONZAGA, L.; KUSKOSKI, E. **Introdução à ciência de alimentos**. Florianópolis, SC: Ed. da UFSC, 2002. 255p.

NAMIKI, M. Nutraceutical Functions of Sesame: A Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 47:651-673, 2007.

O'BRIEN, R.D. **Fats and oils: formulation and processing for applications**. 2 ed. New York: Crc LLC, 2004.

OLIVEIRA, D. M.; FIRMINO, P. DE T.; MARQUES, D. R., KWIATKOVSKI, A., GIRIBONI, A. R. M.; SILVA, A. C.; SOUSA, J. DOS S. Caracterização físico-química dos co-produtos (óleo e torta) do gergelim cv. CNPA-G4 Physico-chemical characterization of co-products (oil and cake) of sesame cv, CNPAG4. **Revista Tecnológica**, Edição Especial V Simpósio de Engenharia, Ciência e Tecnologia de Alimentos, pp. 37-42, 2011.

PIANOVSKI, A. R. ; VILELA, A. F. G.; SILVA, A. A. S.; LIMA, C. G.; SILVA, K. K.; CARVALHO, V. F. M.; MUSIS, C. R.; MACHADO, S. R. P.; FERRARI, M. Uso do óleo de pequi (*Caryocar brasiliense*) em emulsões cosméticas: desenvolvimento e avaliação da estabilidade física. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 44, n. 2, p.249-259, 2008.

PIGHINELLI, A. L. M. T.; PARK, K. J.; RAUEN, A. M.; BEVILAQUA, G.; FILHO, J. A. G. Otimização da prensagem a frio de grãos de amendoim em prensa contínua tipo expeller. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, v. 28, p. 66-71, 2008.

QUEIROGA, V. de P.; ARRIEL, N. H. C.; BELTRÃO, N. E. de M.; SILVA, O. R. R. F. da; GONDIM, T. M. de S.; FIRMINO, P. de T.; CARTAXO, W. V.; SILVA, A. C.; VALE, D. G.; NÓBREGA, D. A. **Cultivo Ecológico do Gergelim: alternativa de produção para comunidades de produtores familiares da região semi-árida do Nordeste**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2007. 53 p. (Embrapa Algodão. Documentos, 171).

QUEIROGA, V. de P.; GONDIM, T.M.S.; VALE, D.G.D.; GEREON, H.G.M.; MOURA, J.A.; SILVA, P.J.; SOUZA FILHO, J.F. **Produção de gergelim orgânico nas comunidades de produtores familiares de São Francisco de Assis do Piauí**. EMBRAPA-CNPA, Campina Grande. 2008. 127p. (Embrapa Algodão. Documentos, 190).

QUEIROGA, V. de P.; FIRMINO, P. de T.; FREIRE, R. M. M.; SILVA, A. C.; TEOTÔNIO, M. A.; GARCIA, F. das C.; JERÔNIMO, J. F. Avaliação do desempenho de três miniprensas para sementes de gergelim. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 4; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 1., 2010, João Pessoa. Inclusão Social e Energia: **Anais...** Campina grande: Embrapa Algodão, 2010.

RAMALHO, V.C.; JORGE, N. Antioxidantes utilizados em óleos, gorduras e alimentos gordurosos. **Revista química Nova**, São Paulo, v.29, n.4, p.64- 65, 2006.

RAMOS, M. B.; SAN GIL, R. A.S. Caracterização química do óleo vegetal extraído de sementes de sesamum indicum. In: 33ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. Águas de Lindóia-SP, 2010.

REDA, S. Y. **Estudo comparativo de óleos vegetais submetidos a estresse térmico**. 153f. 2004. Dissertação (Avaliação tecnológica de matérias primas). Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa.

REDA, S. Y. ; CARNEIRO, P. I. B. Óleos e gorduras: aplicações e implicações. **Revista Analytica**, nº 27, fev-mar, 2007.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. São Paulo, SP. Instituto Mauá de Tecnologia, Edgard Blucher. 2004. 184p.

SILVA, E. R. DA; MARTINO, H. S. D.; MOREIRA, A. V. B.; ARRIEL, N. H. C.; SILVA, A. C.; RIBEIRO, S. M. R. Capacidade antioxidante e composição química de grãos integrais de gergelim creme e preto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** . [online], vol.46, n.7, p. 736-742, 2011.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. A New Version of The Assistat-Statistical Assistance Software. In: World Congress on Computers in Agriculture, 4, Orlando-FL-USA: **Anais...** Orlando: American Society of Agricultural Engineers, p.393-396, 2010.

SKOOG, D. A.; LEARY, J. J. **Thermal methods. In: Principles of instrumental analysis**. Fortworth, Saunders College Publishing, Cap.23, p568-577, 1992.

TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS. **TACO**, Versão 2 Campinas. SP 2006. Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação. NEPA, Universidade Estadual de Campinas. UNICAMP.

TAN, C. P.; CHE MAN, Y. B.; SELAMATB, J.; YUSOFFC, M. S. A. Comparative studies of oxidative stability of edible oils by differential scanning calorimetry and oxidative stability index methods. **Food Chemistry**, v. 76, p. 385–38, 2002.

UNITED STATES PHARMACOPEIAL. Convention. **The United States Pharmacopeia**. 22^a ed. Rockville: USP Pharmacopeia Convencion; 1990: 1684-5.

VASCONCELOS, A. F. F.; GODINHO, O. E. S. Uso de métodos analíticos convencionados no estudo da autenticidade do óleo de copaíba. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n. 6b, p. 1057-1060, 2002.

VAN-DOOREN, A.; MULLER, B. Purity determinations of drugs with differential scanning calorimetry (DSC): critical review. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 20, n. 3, p. 217-233, 1984.

VICARI, J. DA S. O. **Qualidade de óleo de soja refinado embalado em PET (Polietileno Tereftalato) armazenado na presença e ausência de luz**. 2013. 68 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande-MS.

VIEIRA, J. D. **Cultivo de gergelim**. Brasília. Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico – CDT/UnB, 2007.

ZAMBIAZI, R. **The role of endogenous lipid components on vegetable oil stability**. Manitoba/Canadá, 1997. 304 f. Thesis (Doctor of Philosophy), Food and Nutritional Sciences Interdepartmental Program, University of Manitoba.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PROCESSOS



Tese de Doutorado: **Processamento do gergelim: extração de óleo e aproveitamento dos resíduos para produção de alimentos**

Autora: **Débora Rafaelly Soares Silva**

Orientadores: **Prof. Dr. Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata**

Prof.^a Dr.^a Maria Elita Martins Duarte

CAPÍTULO III

UTILIZAÇÃO DA FARINHA DE RESÍDUO DE GERGELIM NA ELABORAÇÃO DE ALIMENTOS

RESUMO

A torta obtida no processo de extração do óleo de gergelim, devido ao seu alto teor proteico, pode ser utilizada como fonte alternativa para o desenvolvimento e enriquecimento de produtos alimentícios. O objetivo deste estudo foi realizar o aproveitamento dos resíduos da extração do óleo de gergelim para obtenção da farinha e, estudar a influência da concentração da farinha nas características química, física, físico-química e sensorial dos alimentos produzidos. A farinha de resíduo de gergelim (FRG) foi obtida a partir do resíduo (torta) gerado durante o processo de extração do óleo de gergelim. Para o preparo dos pães e biscoitos foram utilizadas quatro formulações: a formulação padrão (testemunha), produzida com farinha de trigo e 0% de farinha de resíduo de gergelim (FRG), e as formulações com farinha de trigo e FRG incorporada nas proporções de 5, 10 e 15%. Foram realizadas as análises: química, físico-química e microbiológica da farinha de resíduo de gergelim (FRG) e dos produtos processados da farinha (pães e biscoitos). Também, foram realizadas análises de textura e de aceitação sensorial das amostras de pão e biscoito. Os resultados indicaram que os pães e biscoitos da formulação padrão e adicionados de 5% de FRG obtiveram um índice de aceitação superior às demais amostras avaliadas. O aumento da substituição parcial da farinha de trigo pela farinha de resíduo de gergelim nas formulações dos biscoitos interferiu no índice de aceitação entre os julgadores, tornando o produto menos atrativo ao consumo.

Palavras-chave: FRG, sensorial, pão, biscoito



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIENCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PROCESSOS



Doctoral Thesis: **Sesame Processing : Oil extraction and use waste for food production**

Author: **Débora Rafaelly Soares Silva**

Supervisors: **Prof. Dr. Mario Rangel Eduardo Moreira Cavalcanti Mata**

Prof.^a Dr.^a Maria Elita Martins Duarte

CHAPTER III

FLOUR OF USE SESAME WASTE IN FOOD PREPARATION

ABSTRACT

The cake obtained in sesame oil extraction process due to its high protein content, can be used as alternative for the development and enrichment of food products. The objective of this study was the recovery of waste from the extraction of sesame oil to obtain the flour and study the influence of the concentration of flour in the chemistry, physics, physico-chemistry and sensory of the food produced. The residue sesame flour (FRG) was obtained from the residue (cake) generated during the process of extracting the sesame oil. For the preparation of bread and biscuits four formulations were used: the standard formulation (control) produced with wheat flour and 0% residue sesame flour (FDG), and formulations with wheat flour and FRG incorporated in the proportions of 5%, 10% and 15%. Analyzes were performed: chemical, physical and microbiological residue of sesame flour (FRG) and processed flour products (breads and crackers). Also, texture and sensory acceptability of the samples of bread and biscuit analyzes were performed. The results indicated that the loaves and standard formulation of biscuits and plus 5% of FRG obtained a higher acceptance rate to the other evaluated samples. The increase in partial replacement of wheat flour by residue sesame flour in cookie formulations interfered with the acceptance rate among the judges, making the product less attractive to the consumer.

Keywords: FRG, sensory, bread, cookie

III.1 - INTRODUÇÃO

O gergelim é um alimento de alto valor nutricional, rico em óleo e proteínas. Além de fins alimentares, seus grãos encontram diversas aplicações na indústria farmacêutica, cosmética e óleo-química. A torta de gergelim, subproduto da extração do óleo, pode ser destinada, sem quaisquer restrições, à alimentação humana e animal (MILANI; GONDIM; COUTINHO, 2005). A torta de gergelim pode ser processada para obtenção de uma farinha desengordura estável e isenta de contaminações, da mesma forma como é feita a farinha desengordurada de soja, que já tem amplo uso na alimentação humana (OLIVEIRA; NABESHIMA; CLERICI, 2014). A farinha desengordurada de gergelim (FDG), um subproduto da extração de óleo, geralmente é usada na alimentação animal; contém proteínas, lipídeos, sais minerais, fibras e compostos antioxidantes (MOHDALY et al., 2011), o que demonstra o seu potencial para consumo humano.

A inclusão de ingredientes, que são fontes de fibras alimentares, em produtos alimentícios vem sendo estimulada (MELLO & LAAKSONEN, 2009), porém estes podem levar a mudanças sensoriais e tecnológicas.

Geralmente, a torta ou farelo gerado na extração do óleo não passam por processo de agregação de valor porque são desconhecidas as suas potencialidades nutricionais e econômicas (ABDALLA et al., 2008), associado a esse fato, são também desconhecidas às possibilidades de obtenção de produtos alternativos que possam contribuir para o incremento da oferta proteica de um produto de consumo tradicional.

É necessário o uso de técnicas que agreguem valor ao resíduo gerado durante o processo de extração do óleo de gergelim, elevando-o da categoria de rejeito à fonte alternativa de proteínas para enriquecimento e desenvolvimento de produtos alimentícios.

Objetivou-se com este estudo realizar o aproveitamento dos resíduos da extração do óleo de gergelim para obtenção da farinha e, estudar a influência da concentração da farinha nas características química, física, físico-química e sensorial dos alimentos produzidos.

III.2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

III.2.1 - Torta

O processo de extração do óleo vegetal, em geral obtido por prensagem, extração com solventes e posterior purificação e refino, deixa um resíduo desengordurado denominado de farinha desengordurada, também chamado de farelo ou torta. A origem destes resíduos se dá através da limpeza, preparo e moagem de grãos, bagas e amêndoas (MMA, 2006).

O resíduo de gergelim ou torta, obtido no processo de extração do óleo pode ser destinado à alimentação humana e animal, sem quaisquer restrições, possui alto teor protéico, de 40 a 50 %, dependendo do processo de obtenção. Se obtida pelo método Expeller (prensagem dos grãos), a torta possui, em média, 8,2% de teor de água, 12,8% de óleo, 22,8% de carboidratos, 11,8% de cinzas e baixo teor de fibras de 4,7%. (MILANI; GONDIM; COUTINHO, 2005); com elevados teores de vitaminas do grupo B e alta concentração de aminoácidos que contêm enxofre, especialmente a metionina (1,48%), sendo essa concentração de duas a três vezes mais elevada que a encontrada nas tortas de soja, algodão e amendoim (EMBRAPA ALGODÃO, 2006).

Este resíduo também é rico em fibras e minerais dos quais o cálcio se destaca tendo em torno de 1500mg em 100g de torta semi-desengordurada (ARRIEL; VIEIRA; FIRMINO, 2006). A torta semi-desengordurada pode ser considerada como fonte de fibra, pois no Brasil, por meio da Resolução Normativa nº 27 da Secretaria Nacional de Vigilância Sanitária, se estabelece, no regulamento técnico referente à informação nutricional complementar, que um alimento pode ser considerado fonte de fibra alimentar quando no produto acabado existirem 3g/100g de fibras para alimentos sólidos (BRASIL, 1998). Comparada ao padrão da FAO, a proteína do gergelim desengordurado apresenta uma composição em aminoácidos adequada, exceto em relação a uma pequena deficiência em lisina e metionina (FIRMINO, 1996).

Segundo MAIA et al. (1999), embora o resíduo de gergelim não seja um alimento convencional, pode contribuir para atender às necessidades de proteína e energia de grupos humanos. Ainda, a moagem da torta desengordurada de gergelim produz uma farinha com ótima textura e cor bastante clara.

III.2.2 - Farinha de resíduo de gergelim (FRG)

A farinha desengordurada de gergelim (FDG), um subproduto da extração de óleo, contém, em média, 50% de proteína, pois a semente é rica em aminoácidos sulfurados, característica rara entre as proteínas de origem vegetal (QUEIROGA & SILVA, 2008). Quando a farinha de gergelim se destina ao consumo humano, é necessária uma atenção especial à qualidade da matéria-prima e seu tratamento, objetivando segurança, sanidade, qualidade e valor nutricional da torta extraída (SUBRAMANIAN, 1980).

A farinha desengordurada de gergelim apresenta elevado valor protéico e, portanto com potencial para utilização em diversas formulações (MAIA et al., 1999). Podendo ser utilizada no preparo de pães, bolos e biscoitos, promovendo o enriquecimento de alimentos, de modo a suprir as necessidades nutricionais da população.

Maia et al., (1999), trabalharam com uma mistura protéica desengordurada obtida do gergelim, com farinha extrudada do caupi (*Vigna unguiculata L. Walp*) com o objetivo de verificar o valor nutricional da mistura. O alimento formulado foi considerado de boa qualidade nutricional.

Figueiredo & Modesto Filho (2008) sugerem em seus estudos que a ingestão de farinha de gergelim na dieta pode contribuir beneficemente na redução do risco de diabetes e obesidade, bem como auxiliar no controle do perfil glicêmico e do peso em pacientes diabéticos tipo 2.

Nascimento (2010) ao trabalhar com a elaboração de produtos de milho enriquecidos com grãos e torta semi-desengordurada de gergelim por extrusão termoplástica, verificou que esta incorporação pode trazer grande benefício para saúde.

Finco et al. (2011) observaram que a adição de farinha de gergelim ao iogurte promoveu um produto sensorialmente aceitável, rico em proteínas e lipídeos.

III.2.3 - Pão

De acordo com a Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005, pães são os produtos obtidos da farinha de trigo e ou outras farinhas, podendo conter outros ingredientes, desde que não descaracterizem os produtos. Podem apresentar cobertura, recheio, formato e textura diversos, podendo ser acrescida de expressões relativas ao ingrediente que caracteriza o produto (BRASIL, 2005). Com o aperfeiçoamento das

receitas, em busca de novos sabores outros ingredientes foram adicionados à receita, como especiarias e sementes ou algo que caracterizassem um sabor diferenciado no pão.

A substituição de farinha de trigo por de outros grãos pode provocar mudanças no comportamento estrutural da massa. As alterações ocorrem na característica da massa, no tempo de fermentação e na qualidade final do produto. No entanto, o percentual de substituição está diretamente relacionado com as mudanças que podem ocorrer como a diluição da proteína formadora de glúten presente na farinha de trigo. Desta forma, o ajuste do tempo de mistura da massa, tempo e temperatura da fermentação, processo de fabricação e qualidade da farinha de trigo podem minimizar parte deste efeito (EL-DASH & GERMANI, 1994). Muitos estudos têm sido realizados com farinhas mistas objetivando a aplicação no setor de panificação e pastifício. Grãos de trigo (SILVA, 2007), quinoa, soja, aveia, farelos de trigo (SHENOY & PRAKASH, 2007), de aveia, sementes de linhaça (KOCA & ANIL, 2007), de gergelim e de girassol, centeio, além de folhas (BORNEO & AGUIRRE, 2008), frutos e outras partes dessas plantas estão sendo estudados.

O pão é um dos alimentos mais difundidos em nosso país e tem se constituindo numa das principais fontes calóricas da dieta do brasileiro. Entretanto, as proteínas do trigo são de baixa qualidade nutricional devido à deficiência do aminoácido lisina (um dos componentes da proteína) que limita aproximadamente pela metade o aproveitamento de sua proteína pelo organismo humano. Por outro lado, nas sementes de gergelim está presente a lisina, que incorporada ao pão melhora a qualidade nutricional das proteínas devido a um melhor balanço dos aminoácidos, provocando um aumento substancial no aproveitamento das mesmas pelo organismo (FIRMINO et al., 2000). O interesse dos consumidores na prevenção de doenças e a busca de produtos mais saudáveis vêm direcionando e pressionando as indústrias alimentícias a investirem em produtos nesse sentido e realizarem pesquisas onde alimentos funcionais ganham destaque pelos efeitos benéficos que promovem a saúde (GÓES & PEREIRA, 2010).

III.2.4 - Biscoitos

Biscoitos ou bolachas são os produtos obtidos pela mistura de farinha(s) e/ou amido(s) com outros ingredientes, submetidos a processos de amassamento e cocção (BRASIL, 2005). Os biscoitos são alimentos fáceis de carregar e de conservar, complementam as refeições e são fontes de energia. Este alimento não constitui um

alimento básico como o pão, mas são aceitos e consumidos por pessoas de todas as idades (MORAES et al., 2010).

O enriquecimento do biscoito com a farinha de gergelim é uma alternativa principalmente devido ao fato desta semente possuir elevado valor nutricional, substâncias nobres que atuam na prevenção de doenças, além de ser uma cultura adaptada ao semiárido que permite a geração de emprego e renda no campo e a movimentação de capital nos municípios onde é produzido e comercializado (FIRMINO et al., 2005).

Oliveira; Nabeshima; Clerici, (2014) ao avaliarem sensorialmente e tecnologicamente o biscoito tipo *cookies* contendo farinha desengordurada de gergelim e amido resistente, observaram que a utilização desses ingredientes podem contribuir na melhoria dos efeitos benéficos em produtos de panificação.

Mosmann (2012) ao elaborar o biscoito salgado sem glúten com fibras, verificou que este pode ser uma alternativa aos produtos existentes no mercado, além de ser nutritivo e saboroso.

III.2.5 - Características sensoriais

A análise sensorial é realizada em função das respostas transmitidas pelos indivíduos às várias sensações que se originam de reações fisiológicas e são resultantes de certos estímulos, gerando interpretação das propriedades intrínsecas aos produtos; para isto é necessário que haja, entre as partes, indivíduos e produtos, contato e interação (BRASIL, 2005).

ARAÚJO et al. (2000) afirmam que as características sensoriais estimulam os sentidos e provocam vários graus de reação de desejo ou rejeição, por um processo complexo; o consumidor escolhe um alimento pelo seu nível de qualidade sensorial; entretanto, a avaliação sensorial é o parâmetro que determina a rejeição de determinado alimento pelo consumidor, razão por que sua utilização para determinação da vida de prateleira é muito importante (LIMA; SILVA; GONÇALVES, 1999).

Na indústria de alimentos o uso de técnicas modernas de análise sensorial tem sido um meio seguro para caracterizar diferenças e similaridades em produtos que disputam um mesmo mercado consumidor; otimizar atributos de aparência, aroma, sabor e textura dos alimentos, em função de expectativas do mercado consumidor; avaliar alterações sensoriais que ocorrem em função do tempo e de condições de armazenamento, do tipo de

embalagem, de variações no processamento, variações na matéria-prima (MINIM & DANTAS, 2004).

III.2.6 - Cor

A cor é o atributo de qualidade mais atrativo para o consumidor; os produtos de coloração forte e brilhante são os preferidos, embora na maioria dos casos a cor não se correlacione com o valor nutritivo nem com a qualidade comestível do produto (CHITARRA & CHITARRA, 2005).

A cor não é uma característica absoluta de um objeto, mas sim uma percepção humana. Ou seja, a cor de um objeto é uma sensação. Cada indivíduo tem uma percepção própria da cor de um determinado objeto que depende de aspectos fisiológicos e psicológicos. Os estímulos da cor, registrados pela retina, são provocados pela distribuição de energia e as propriedades espectrais da luz visível que passa através, ou é refletida por um objeto. A sensação de cor somente se concretiza após uma complexa operação na qual o cérebro processa os estímulos recebidos. Portanto a cada cor corresponde um espectro característico (MELCHIADES & BOSCHI, 1999).

III.2.7 - Textura

Muitas vezes o termo textura tem sido confundido, com firmeza. A firmeza é um dos componentes da textura. A textura é mais complexa e de difícil determinação, uma vez que reflete a sensação produzida nos lábios, língua, mucosa da boca, dentes e ouvidos. Essas sensações são representadas pela dureza, maciez, fibrosidade, suculência, granulidade, qualidade farinácea, resistência e elasticidade (KLUGE et al., 2002).

A textura de um alimento pode ser definida como um grupo de características físicas que provém dos elementos estruturais dos alimentos. Essas características, ou parâmetros de textura, são quantificados através das análises de textura, que podem ser sensoriais ou instrumentais (GIOIELLI & LANNES, 1995). Sendo perceptíveis pelo tato e relacionadas à deformação, desintegração e fluxo do alimento, sob a aplicação de uma força (BOURNE, 2002).

III.2.8 - Análises microbiológicas

A qualidade sanitária de um alimento é o atributo mais importante, devendo ser controlada adequadamente, para retardar ou inibir a contaminação microbiana, causadora de deterioração dos produtos melhorando, desta forma, a qualidade e a vida-de-prateleira do produto. Como requisitos apresentados para as características microscópicas, os produtos devem estar isentos de sujidades, parasitas ou larvas (MONTE et al, 2002).

De acordo com Brasil (2001), a análise microbiológica consiste na detecção e diferenciação de microrganismos (leveduras e bactérias) e sua quantificação por cultura em meio sólido (número de unidades formadoras de colônias de leveduras, de bactérias lácteas e de bactérias acéticas por ml); deste modo e ao se recorrer à análise microbiológica é possível seguir as fermentações alcoólica e/ou maloláctica e antever situações indesejáveis de alterações microbianas facultando, desta forma, a descoberta de eventuais anomalias que possam ocorrer, não apenas no produto final, mas também durante as distintas etapas da sua preparação.

Franco & Landgraf (1996) afirmam que a capacidade de sobrevivência ou de multiplicação dos microrganismos que estão presentes em um alimento, depende de uma série de fatores, dentre os quais, estão àqueles relacionados com as características próprias do alimento (fatores intrínsecos) e os relacionados com o ambiente em que o alimento se encontra (fatores extrínsecos). O desenvolvimento de microrganismos nos alimentos pode provocar alterações em sua composição química, em suas propriedades sensoriais ou, ainda, na sua estrutura.

O mau armazenamento pode culminar no desenvolvimento de bolores e leveduras com posterior produção de micotoxinas, o que representa risco à saúde do consumidor (CAVALCANTE & AGOSTINI, 2005).

A avaliação microbiologia em alimentos é um dos parâmetros mais importantes no controle de qualidade. As condições de higiene em que foi processado um alimento determinarão o seu tempo de vida útil e os riscos à saúde do consumidor (SOARES et al., 2002).

III.3 - MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA), da Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos, e no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA), da unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, ambos pertencentes ao Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

III.3.1 - Matéria-prima

Nesta pesquisa foram utilizadas sementes de gergelim da cultivar BRS SEDA, fornecidas pela EMBRAPA - Algodão, situada em Campina Grande - PB. Para a obtenção dos pães, foram utilizados como ingredientes: farinha de resíduo de gergelim (FRG) obtida no processo de extração do óleo, e no comércio do município de Campina Grande foram adquiridos os seguintes produtos: farinha de trigo, leite em pó, sal, margarina, açúcar e fermento biológico. Na obtenção dos biscoitos, foram utilizados como ingredientes: sementes de gergelim, farinha de resíduo de gergelim (FRG), e os demais produtos adquiridos no comércio, como farinha de trigo, sal, óleo e condimento.

III.3.2 - Obtenção da farinha de resíduo de gergelim (FRG)

A farinha de resíduo de gergelim (FRG) foi obtida a partir do resíduo (torta) gerado durante o processo de extração do óleo de sementes de gergelim com os teores de água de 2,0, 4,0, 6,0 e 8,0% (b.u) (Figura III.3.1). A torta resultante da extração do óleo foi homogeneizada e seca em estufa durante 5 horas na temperatura de 50°C. O produto seco, foi resfriado em temperatura ambiente e triturado em liquidificador, posteriormente foi submetido a um processo de peneiramento. A farinha obtida foi embalada em sacos plásticos e conservada em local seco com temperatura ambiente, até que fossem realizadas as análises química, física e físico-química e utilizada na formulação dos pães e biscoitos.



(A)

(B)

Figura III.3.1 - Torta de gergelim obtida após a extração do óleo (A), farinha de resíduo de gergelim (B)

III.3.3 - Caracterização química, física e físico-química da farinha de gergelim

Foram realizadas análises química, física e físico-química para determinação das características da farinha de gergelim (FRG) e dos produtos processados da farinha (pães e biscoitos).

III.3.3.1 - Teor de água

O teor de água foi determinado através do método descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (2008), expressos em percentagem (%).

III.3.3.2 - Lipídeos

O teor de lipídeos foi determinado segundo metodologia de Bligh e Dyer (1959).

III.3.3.3 - pH

O pH foi determinado pelo método potenciométrico, com peagômetro, previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0; os resultados foram expressos em unidades de pH.

III.3.3.4 - Acidez titulável

A acidez titulável foi determinada através do método acidimétrico do Instituto Adolfo Lutz (2008), cujas amostras foram tituladas com solução padronizada de NaOH 0,1N.

III.3.3.5 - Cor

O parâmetro cor foi determinado através do colorímetro de Hunter, modelo Hunterlab Miniscan, sendo **L** a luminosidade, **a** definido como a transição da cor verde (-a) para a cor vermelha (+a) e **b** representa a transição da cor azul (-b) para a cor amarela (+b). As leituras foram feitas em triplicata, obtendo-se os valores médios de L, a* e b*.

III.3.3.6 - Atividade de água

A atividade de água foi determinada, em triplicata, diretamente em medidor eletrônico da marca Decagon, modelo Aqualab lite, à temperatura constante ($25,0 \pm 0,30$ °C).

III.3.4 - Obtenção dos pães e biscoitos

III.3.4.1 - Formulação dos pães

Para o preparo dos pães foram utilizadas quatro formulações: a formulação padrão (testemunha), produzida com farinha de trigo e 0% de farinha de resíduo de gergelim (FRG), e as formulações com farinha de trigo e FRG incorporada nas proporções de 5%, 10% e 15% (Figura III.3.2), conforme as Tabelas III.3.1 e III.3.2.

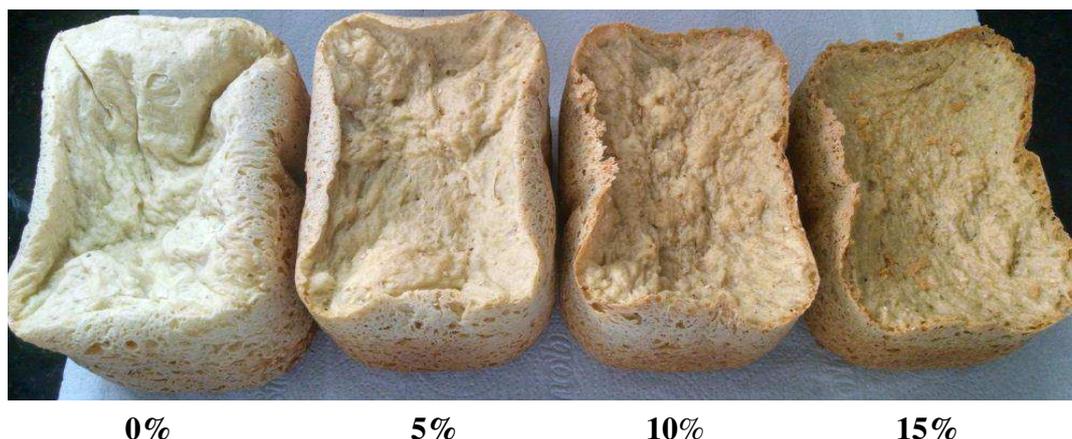


Figura III.3.2 - Pães formulados com diferentes concentrações de farinha de resíduo de gergelim (FRG)

Tabela III.3.1 - Proporção de farinha de trigo (g) e farinha de resíduo de gergelim (FRG) (g) utilizadas na elaboração dos pães

Itens	FRG			
	0 %	5%	10%	15%
Farinha de trigo (g)	400	380	360	340
FRG (g)	0	20	40	60

Além das farinhas de trigo e FRG, foram utilizados em todas as formulações, em proporções fixas, os ingredientes discriminados na Tabela III.3.2.

Tabela III.3.2 - Proporção de ingredientes acrescentados às formulações de farinha de trigo e farinha de resíduo de gergelim (FRG), utilizados na elaboração dos pães

Ingredientes	Quantidade
Água (ml)	200
Açúcar (g)	25,0
Sal (g)	6,0
Fermento biológico seco (g)	7,0
Leite em pó (g)	8,0
Margarina (g)	11,0

III.3.4.2 - Preparo dos pães

Os ingredientes foram adicionados na seguinte ordem: inicialmente os ingredientes líquidos, e em seguida os ingredientes secos, sendo o fermento biológico seco, o último ingrediente adicionado na máquina de pão, modelo Panificadora Multi Pane, da marca Britânia. Em seguida, foi escolhido o ciclo, neste caso o tipo escolhido foi pão integral, na sequência foi selecionada a quantidade de massa, onde a proporção utilizada foi para pães em torno de 600 g; também foi selecionada a cor da casca do pão, sendo utilizada neste trabalho a opção clara. Logo após, foi iniciado o funcionamento da máquina de pão, onde todas as etapas necessárias no processo de fabricação do pão foram realizadas exclusivamente pela Panificadora Multi Pane, durante o período de tempo preestabelecido pela máquina de 3 h e 30 min. Depois de assados, os pães foram resfriados em temperatura ambiente, fatiados e colocados em recipientes plásticos até a realização das análises sensoriais e físico-químicas.

III.3.4.3 - Formulação dos biscoitos

No preparo dos biscoitos, também foram utilizadas quatro formulações: a formulação padrão (testemunha), produzida apenas com a farinha de trigo, e as formulações com farinha de trigo e FRG incorporada nas proporções de 5, 10 e 15%, conforme as Tabelas III.3.3 e III.3.4.

Tabela III.3.3 - Proporção de farinha de trigo (g) e farinha de resíduo de gergelim (FRG) (g) utilizadas na elaboração dos biscoitos

Itens	FRG			
	0%	5%	10%	15%
Farinha de trigo (g)	300	285	270	255
FRG (g)	0	15	30	45

Para todas as formulações foram utilizados, em proporções fixas, os ingredientes descritos na Tabela III.3.4.

Tabela III.3.4 - Proporção de ingredientes acrescentados às formulações de farinha de trigo e de gergelim (FRG), utilizados na elaboração dos biscoitos

Ingredientes	Quantidade
Água (ml)	100,0
Óleo (ml)	100,0
Sal (g)	3,0
Tempero (g)	11,0
Sementes de gergelim (g)	27,0

III.3.4.4 - Preparo dos biscoitos

Inicialmente, foram misturados os ingredientes água, óleo e sal; em seguida, foram adicionados os demais ingredientes, até que formasse uma massa homogênea (Figura III.3.3A). Posteriormente, a massa foi moldada até a espessura desejada em torno de 0,5 cm, logo após, a massa foi cortada, formando biscoitos quadrados com aproximadamente 3,0 cm. Os biscoitos foram assados em forno, com temperatura de aproximadamente 200 °C por um período em torno de 20 min (Figura III.3.3B).



Figura III.3.3 - Etapas da elaboração dos biscoitos: massa homogeneizada (A); biscoitos assados (B)

III.3.5 - Caracterização química, física e físico-química das amostras de pão e biscoito

As análises de teor de água, lipídeos, pH, acidez titulável, cor e atividade de água foram determinados segundo a metodologia descritas nos itens III.3.3.1 a III.3.3.6.

III.3.6 - Textura

III.3.6.1 - Resistência à compressão

Os testes foram conduzidos no texturômetro marca STABLE MICRO SYSTEMS, modelo TA-TXplus. O método utilizado consiste na dupla compressão da amostra, gerando um gráfico força-tempo e força-distância, dos quais se obtém os valores necessários para o cálculo dos parâmetros de textura. Utilizou-se o probe P/36R, para medir a força (N) suficiente para comprimir as amostras de pão e biscoito (Figura III.3.4). As amostras foram fixadas sobre a base do equipamento, em seguida, foi aplicada uma força perpendicular através da sonda cilíndrica na superfície das amostras. Os parâmetros de textura foram calculados através da curva da seguinte forma:

- Firmeza: pico de força medido durante o primeiro ciclo de compressão (N);
- Coesividade: relação entre as áreas da segunda e primeira compressão do ponto inicial até o pico (adimensional);
- Elasticidade: distância do ponto inicial da segunda compressão até o pico (m);
- Mastigabilidade: produto da firmeza, coesividade e elasticidade (J).

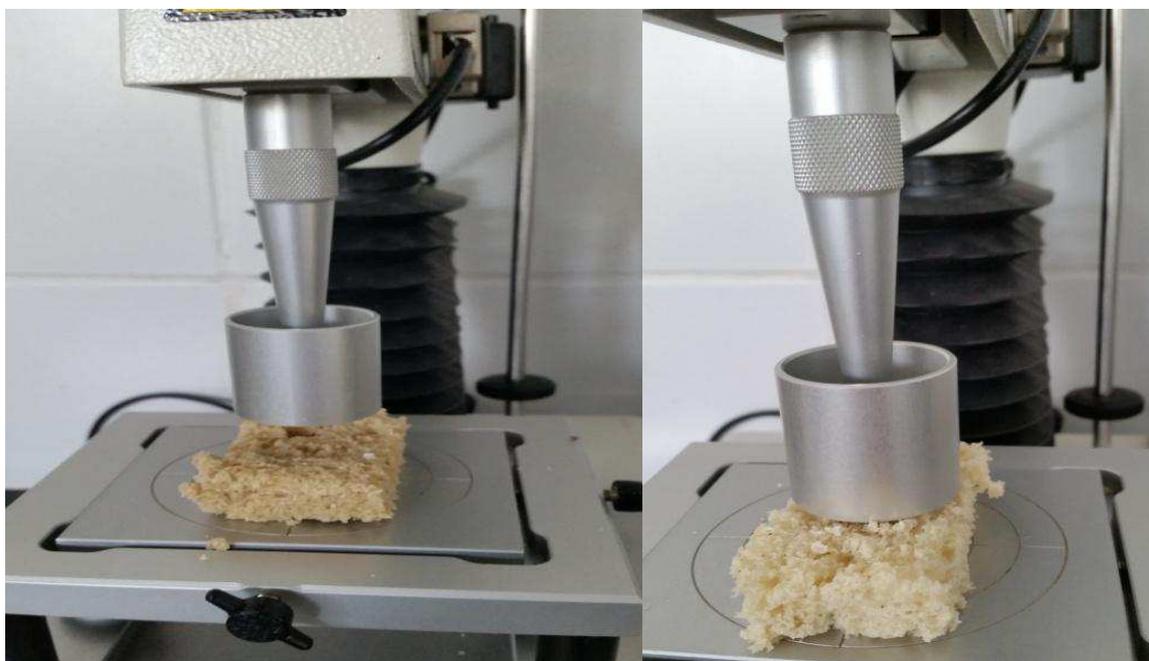


Figura III.3.4 - Teste de resistência à compressão das amostras de pão e biscoito, realizadas através do Texturômetro TA-TXplus

III.3.6.2 - Resistência à quebra

Utilizou-se o probe HDP/3PB, para medir a força (N) suficiente para provocar a ruptura das amostras. As amostras foram fixadas sobre a base do equipamento, em seguida, foi aplicada uma força perpendicular através do probe na superfície das amostras de pão e biscoito. Para cada formulação foram utilizadas seis amostras, obtendo-se a média no final.

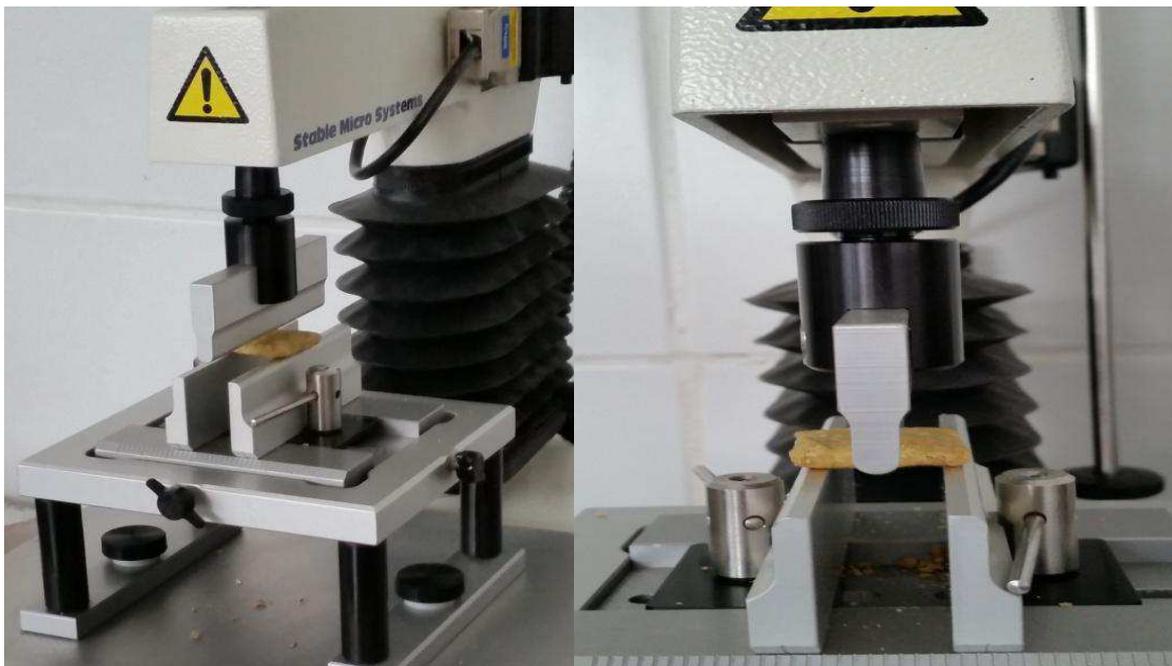


Figura III.3.5 - Teste de resistência à quebra das amostras de pão e biscoito, realizadas através do Texturômetro TA-TXplus

III.3.7 - Análise microbiológica

As análises microbiológicas requeridas para a farinha e as amostras de pão e biscoito foram *Bacillus cereus*/g, Coliformes a 45°C /g e *Salmonella sp.* /25 g, segundo exigência da Resolução RDC nº 12 (BRASIL, 2001) que aprova o Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos.

Os procedimentos microbiológicos seguiram o protocolo descrito pela Food and Drug Administration (1995), sendo que a interpretação dos resultados foi realizada de acordo com os critérios microbiológicos estabelecidos na legislação brasileira (BRASIL, 2001).

III.3.8 - Análise sensorial

O teste de aceitação sensorial dos produtos obtidos da farinha de resíduo de gergelim (pães e biscoitos) foi realizado no Laboratório de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Campina Grande.

A aceitação das amostras foi avaliada através da escala hedônica estruturada de nove pontos, onde os julgadores indicaram quanto gostaram ou desgostaram de cada amostra e a intenção de compra foi avaliada utilizando-se a escala de atitude de sete pontos segundo metodologia proposta por Stone & Sidel (1993).

III.3.8.1 - Teste de aceitação dos pães e biscoitos

Os julgadores foram, inicialmente, esclarecidos sobre o objetivo do estudo em questão e sobre a matéria-prima, a farinha de resíduo de gergelim, que foi utilizada na composição dos produtos alimentícios (pão e biscoito), sob diferentes formulações. Além de serem informados sobre possíveis reações indesejadas durante o consumo, caso tivessem algum tipo de restrição alimentar, conforme descrito no Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice 1). Os julgadores não treinados, foram em número de 50, de ambos os sexos, na faixa etária de 18 a 60 anos, receberam uma amostra de cada formulação dos produtos (pão e biscoito) em copos plásticos descartáveis, todos codificados com número de três dígitos para identificação das amostras.

A análise sensorial das formulações dos pães e biscoitos foram realizadas através da escala de 9 pontos para avaliação de preferência para os atributos: cor, aparência, aroma, textura e sabor, onde foram utilizadas as expressões desgostei extremamente e gostei extremamente nas extremidades. A intenção de compra foi avaliada através da escala de 5 pontos através da expressões comeria sempre e nunca comeria nas extremidades (Apêndice 2).

O teste de aceitação dos pães e dos biscoitos, formulados com diferentes concentrações de farinha de resíduo de gergelim foi realizado individualmente e com julgadores diferentes.

III.3.9 - Análise estatística

Os dados experimentais da caracterização química, física e físico-química da farinha de resíduo de gergelim (FRG) e dos produtos (pães e biscoitos) obtidos a partir da farinha foram submetidos ao delineamento inteiramente casualizado e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o programa Assistat, versão 7.5 beta (SILVA & AZEVEDO, 2010).

Para os resultados obtidos nas análises sensoriais foram utilizados os programas CONSENSOR 1.1 (SILVA; DUARTE; CAVALCANTI MATA, 2010) utilizado para calcular o percentual de concordância entre julgadores de análise sensorial e o programa ASSISTAT, versão 7.5 beta (SILVA & AZEVEDO, 2010), no qual foi realizado a análise de variância e a comparação entre as médias pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

III.4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

III.4.1 - Caracterização química, física e físico-química da farinha de resíduo de gergelim (FRG)

Os valores médios determinados na caracterização química, física e físico-química da farinha de resíduo de gergelim (FRG), encontram-se na Tabela III.4.1.

Tabela III.4.1 - Características química, física e físico-química da farinha de resíduo de gergelim (FRG)

Parâmetro	Média e Desvio Padrão
Teor de água (%)	7,1 ± 0,10
Lipídeos	32,46 ± 0,30
pH	6,17 ± 0,01
Acidez titulável (%)	1,13 ± 0,01
Cor (L)	62,57 ± 0,29
Cor (a)	4,19 ± 0,15
Cor (b)	22,24 ± 0,54
Aw	0,625 ± 0,0006

O teor de água da farinha de resíduo de gergelim encontra-se dentro do limite preconizado pela legislação brasileira através da Resolução RDC nº 263 (BRASIL, 2005), na qual determina que as farinhas, amido de cereais e farelos, obtenham o teor máximo de 15,0 %. Neste estudo, o teor médio de água determinado para a farinha de gergelim foi de 7,1%, valor considerado satisfatório para a manutenção da qualidade e da vida útil da farinha. Esse valor foi similar ao encontrado por Maia et al. (1999) ao estudarem a eficiência da farinha de resíduo de gergelim como complemento protéico da farinha extrudada de caupi, de 7,21%; e superior ao teor de 5,19% reportado por Clerici; Oliveira; Nabeshima (2013) ao avaliarem a qualidade de biscoitos tipo cookies elaborados com a substituição parcial da farinha de trigo por farinha desengordurada de gergelim.

Pode-se observar que o teor de lipídeos obtido de 32,46%, foi considerado elevado, visto que a farinha é um subproduto resultante do processo de extração de óleo; contudo, Finco et al. (2011) obtiveram, em sua pesquisa sobre elaboração de iogurte com adição de

farinha de gergelim, um valor de lipídeos ainda maior, de 39,74%, para a farinha de gergelim. Clerici; Oliveira; Nabeshima (2013) obtiveram o teor de lipídeos de 24,06% para a FDG, valor este inferior ao relatado neste estudo.

O valor de pH determinado para a farinha de gergelim neste estudo, foi igual a 6,17; resultado semelhante foi reportado por Amorim; Sousa; Souza (2012) que obtiveram um pH de 6,22 para a farinha de semente de abóbora. O pH é um fator de grande importância na limitação da capacidade de desenvolvimento de microrganismos no alimento e que contribui para definir procedimentos tecnológicos com vista a conservação (SOUZA et al., 2008).

A acidez representa o estado de conservação das farinhas, envolvendo tanto aspectos químicos como microbiológicos, pois o crescimento microbiano envolve a produção de ácidos orgânicos e hidrólise de proteínas e carboidratos (ORTOLAN; HECKTHEUER; MIRANDA, 2010). Observa-se que o valor médio da acidez da farinha de 1,13%, foi inferior ao limite estabelecido pela legislação (BRASIL, 2005) para a farinha desengordurada de soja de 2,0%.

Os parâmetros de cor (L, a, b) referentes à farinha de gergelim foram, respectivamente, de 62,57, 4,19 e 22,24, cujos valores dos parâmetros foram inferiores aos obtidos por Clerici; Oliveira; Nabeshima (2013) ao elaborarem cookies com a substituição parcial da farinha de trigo por farinha desengordurada de gergelim, respectivamente, iguais a 67,43, 5,38 e 17,20. Dessa forma, a farinha de gergelim obtida neste estudo tende a ter uma coloração mais escura em relação à FDG, determinada por Clerici; Oliveira; Nabeshima (2013).

De acordo com Gava; Silva; Farias (2008), a A_w varia de 0 a 1, sendo o valor de 0,6 considerado o limite mínimo para o desenvolvimento de microrganismo em alimentos. O valor da A_w da farinha de gergelim, igual a 0,625, encontra-se dentro do limite mínimo para o desenvolvimento de microrganismos. O resultado obtido foi inferior ao valor determinado por Gomes; Reis; Silva (2012) para farinha de feijão caupi, cuja A_w encontrada foi em torno de 0,7; conforme relata os autores o produto pode ser considerado microbiologicamente estável, uma vez que a maioria dos fungos se desenvolvem em atividade de água superior a 0,8.

III.4.2 - Qualidade microbiológica da farinha de resíduo de gergelim e dos seus produtos (pães e biscoitos)

De acordo com as análises microbiológicas, todas as amostras avaliadas encontram-se adequadas para o consumo, verificou-se que as amostras apresentaram ausência para os microrganismos analisados, estando em conformidade com as condições higiênico-sanitárias estabelecidas pela legislação em vigor. A farinha de resíduo de gergelim (FRG), bem como os produtos elaborados a base de FRG, foram produzidos de acordo com as boas práticas de fabricação.

III.4.3 - Caracterização química, física e físico-química dos pães

Na Tabela III.4.2, tem-se os resultados obtidos nas análises das características físicas e físico-químicas do pão elaborado nas concentrações de 0 (padrão), 5, 10 e 15% de farinha de resíduo de gergelim FRG.

Tabela III.4.2 - Características química, física e físico-química do pão padrão e com farinha de resíduo de gergelim (FRG), em diferentes concentrações

Parâmetros	Teor de FRG			
	Padrão	5%	10%	15%
Teor de água (%)	41,39 a	36,43 b	39,32 a	39,47 a
Lipídeos (%)	1,90 c	3,26 b	3,53 b	5,70 a
pH	5,60 ab	5,54 b	5,65 a	5,66 a
Acidez titulável (%)	0,190 b	0,238 a	0,256 a	0,251 a
Cor (L*)	69,23 a	66,00 b	63,34 b	59,25 c
Cor (a*)	1,76 d	2,59 c	3,28 b	4,42 a
Cor (b*)	23,03 a	19,98 bc	21,48 b	18,77 c
Aw	0,959 a	0,956 a	0,959 a	0,960 a

*Médias seguidas das mesmas letras nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

O teor de água apresentou diferença significativa apenas para o pão formulado com 5% de FRG. Todos os pães formulados com FRG apresentaram teor de água entre 36 e 39%, cujos valores foram inferiores ao determinado para o pão padrão, onde se encontrou

um teor de água mais elevado, de 41,39%, estando esses valores acima do limite máximo de 35%, exigido pela legislação brasileira (BRASIL, 2005). Moreira (2007) obteve teores de água em torno de 50% para os pães sem glúten elaborados com farinha de arroz e de soja. Moreno; Dellanoce; Guastaferró (2010) ao avaliarem os efeitos da aplicação de amido resistente na fabricação de pão de forma, reportaram valores entre 37 e 40,91% para teor de água de pães de forma. No setor de panificação observa-se tendência em colocar no mercado produtos com maior teor de água, aumentando a maciez e conferindo aspecto mais fresco ao pão. A não conformidade em relação à umidade não representa risco para a saúde dos consumidores, mas aumenta o risco de contaminação por bolores (meio propício à proliferação de microrganismos) (FERREIRA; OLIVEIRA; PRETO, 2001).

Em relação ao teor de lipídios, apenas o pão padrão e o pão elaborado com 15% de FRG diferenciaram-se dos demais; o teor de lipídios do pão padrão foi inferior aos valores obtidos para os pães elaborados com FRG, verifica-se ainda, que o teor de lipídeos aumentou em função do incremento da FRG na formulação dos pães; este fato era esperado, uma vez que o teor lipídico da farinha de gergelim é considerado elevado.

O valor médio do pH dos pães variou de 5,54 a 5,66, tendo sido verificado a elevação deste parâmetro em função do aumento da concentração da FRG, entretanto, a amostra formulada com 5% de FRG foi estatisticamente inferior a amostra padrão. Oliveira et al. (2011) também verificaram a elevação do pH com o aumento da concentração de carbonato de cálcio na formulação do pão de forma.

A acidez média variou entre 0,190 a 0,256, não houve diferença significativa entre as concentrações de FRG, apenas o pão padrão diferiu estatisticamente. O teor de acidez obtido para os pães formulados com FRG atende aos padrões estabelecidos, estando próximo ao valor considerado ótimo (0,25% de ácido acético/100 g) para este parâmetro.

Segundo Maciel (2006) o pH e a acidez são características determinantes da qualidade dos pães. Durante a fermentação, as leveduras e as enzimas responsáveis pela formação de compostos voláteis, têm sua atividade influenciada pelas condições de pH e acidez. Conhecer os fatores que podem contribuir para a variação dessas características, bem como relacionar os valores obtidos com as características sensoriais dos produtos finais, são informações necessárias para o estabelecimento de uma faixa ou de um valor ótimo a serem adotados como padrões.

Os valores médios do parâmetro L^* de cor dos pães estudados, reduziram em função do acréscimo das concentrações de FRG, efeito este mais acentuado no pão

formulado com 15% de FRG, cujo resultado indica que houve um escurecimento dos pães em virtude do aumento formulações. Neste estudo os pães apresentaram valor de L^* superior a (59,0), segundo Purlis (2011), pães com luminosidade em torno de 70 apresentam boa aceitação sensorial. Entretanto, valores abaixo de 60 resultam em escurecimento excessivo e acima de 78, em coloração muito clara, indicativa de cozimento insuficiente.

Em relação ao parâmetro a^* , os pães formulados com FRG apresentaram valores superiores em relação ao pão padrão, observando-se um deslocamento na cor das amostras com FRG para o vermelho em relação à amostra padrão.

Para os valores do parâmetro b^* observa-se diferença significativa entre as amostras, os valores deste parâmetro variaram entre 18,77 e 23,03, sendo o valor máximo obtido para o pão padrão. Feitosa et al. (2013) ao avaliarem a cor do miolo do pão francês, obtiveram o valor médio de 14,3 para o parâmetro b^* .

A A_w está diretamente relacionada com a conservação dos alimentos, além de se relacionar a uma maior ou menor velocidade de envelhecimento do pão (DITCHFIELD, 2000). O valor da A_w média variou de 0,956 a 0,960 não havendo diferença significativa entre as formulações avaliadas. O pão está enquadrado aos alimentos com A_w entre 0,98 e 0,93 com estes valores de A_w inibe-se o crescimento de salmonelas, *Cl.botulinum* e outras bactérias patogênicas; o efeito acentua-se quando coexistem condições desfavoráveis de outros agentes, como o pH e a temperatura (ORDÓÑEZ, 2005). Moreno; Dellanoce; Guastaferró (2010) obtiveram valores para a A_w acima de 0,93 para o pão de forma elaborado com amido resistente.

III.4.4 - Textura dos pães

Os resultados referentes aos parâmetros de textura (firmeza, coesividade, elasticidade, mastigabilidade e resistência à quebra) dos pães formulados com diferentes concentrações de farinha de resíduo de gergelim, encontram-se na Tabela III.4.3.

O parâmetro firmeza foi influenciado pelo acréscimo de farinha de resíduo de gergelim na formulação dos pães, ocorrendo o aumento deste parâmetro em função da adição da farinha. O aumento da firmeza provavelmente está relacionado ao alto teor de fibra característico desta farinha, tornando os pães com uma textura mais firme. Borges et

al. (2013) também verificaram a elevação deste parâmetro ao aumentarem a incorporação da farinha de quinoa na substituição parcial da farinha trigo na elaboração dos pães.

Tabela III.4.3 – Medidas dos parâmetros de textura (firmeza, coesividade, elasticidade, mastigabilidade e resistência à quebra) dos pães formulados com diferentes concentrações de farinha de resíduo de gergelim

Tratamentos	Parâmetros				
	Firmeza (N)	Coesividade	Elasticidade	Mastigabilidade (N)	Resistência à quebra
Padrão	2,84 d	0,83 a	0,81 a	1,21 d	13,20 a
5%	4,93 c	0,77 b	0,73 b	2,33 c	13,41 a
10%	7,80 b	0,69 c	0,65 c	3,43 b	12,13 a
15%	11,02 a	0,67 c	0,64 c	4,54 a	9,53 a
DMS	1,63	0,04	0,05	0,72	7,00

*Médias seguidas das mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Com relação à coesividade, que representa a extensão máxima que um material pode ser deformado antes da ruptura, observa-se que houve uma redução deste parâmetro em função do aumento das concentrações de farinha de resíduo de gergelim na formulação dos pães, foi verificado que as médias da coesividade variaram entre 0,83 a 0,67, não havendo diferença estatística entre os pães formulados nas concentrações de 10 e 15% de FRG.

A elasticidade, também foi reduzida com o aumento da incorporação da farinha de resíduo de gergelim, neste caso, verificou-se que a velocidade necessária para o produto deformado retornar ao estado inicial, foi reduzida com o incremento da FRG. Evangelho et al. (2012), verificaram que o aumento da percentagem de farinha de arroz na formulação do pão e o aumento do tempo de estocagem promoveram uma redução da elasticidade dos pães.

O parâmetro mastigabilidade, representa a energia requerida para mastigar um alimento até a deglutição, neste estudo verifica-se que a adição de farinha de resíduo de gergelim nas concentrações de 5, 10 e 15% interferiu na mastigabilidade dos pães, promovendo um aumento de 48,06, 64,72 e 73,35%, em relação ao pão padrão, respectivamente. Silva et al. (2009) ao desenvolverem o pão de forma com a adição de

farinha de okara, verificaram que o aumento da mastigabilidade foi influenciado pelo acréscimo da farinha de okara na substituição parcial da farinha de trigo e, também decorrente do período de estocagem dos pães.

Quanto ao parâmetro resistência à quebra, observa-se que os tratamentos avaliados não diferiram estatisticamente, entretanto, o incremento da farinha de resíduo de gergelim na formulação dos pães, promoveu uma diminuição da resistência, onde a maior resistência foi obtida para o pão padrão.

III.4.5 - Análise sensorial dos pães

Na Tabela III.4.4 tem-se as médias obtidas na análise sensorial do pão formulado com diferentes concentrações de farinha de resíduo de gergelim (FRG), quanto aos atributos cor, aparência, aroma, textura e sabor.

Tabela III.4.4 - Médias de avaliação de aceitação das amostras de pão padrão e com adição de farinha de resíduo de gergelim

Tratamentos	Parâmetros				
	Cor	Aparência	Aroma	Textura	Sabor
Padrão (0%)	7,56 a	7,70 a	7,18 a	7,22 a	7,36 a
5%	7,26 a	7,48 a	6,74 ab	7,30 a	7,28 a
10%	7,08 ab	7,02 a	6,22 b	6,64 ab	5,82 b
15%	6,44 b	6,24 b	6,08 b	6,32 b	5,54 b
DMS	0,68	0,72	0,85	0,73	0,87

*Médias seguidas das mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Verifica-se que a amostra padrão obteve médias superiores as amostras formuladas com farinha de resíduo de gergelim, para a maioria dos atributos avaliados, com exceção do parâmetro textura que foi superior para a amostra formulada com 5% de FRG. As amostras padrão e 5% não diferiram estatisticamente na maioria dos atributos julgados, o maior nível de aceitação foi obtido por estas amostras. Gurjão et al. (2014) ao avaliarem as propriedades sensoriais e a aceitação mercadológica do pão de forma enriquecido com farinha de grãos de abóbora, também verificaram que os tratamentos pão padrão e 5% de FGA obtiveram o índice de aceitabilidade superior as concentrações de 10 e 15% de FGA.

Pode-se verificar que, o aumento das concentrações de farinha de resíduo de gergelim na formulação dos pães promoveu uma redução do índice de aceitação dos julgadores, onde o maior índice de rejeição foi obtido para o pão formulado com 15%, com médias inferiores aos demais tratamentos em todos os parâmetros avaliados.

Na Tabela III.4.5 tem-se as médias e os coeficientes de concordância entre julgadores (CC) da análise sensorial do pão padrão e com adição de farinha de resíduo de gergelim, quanto aos parâmetros cor, aparência, aroma, textura e sabor.

Pode-se observar, para o parâmetro cor, que o tratamento com maior concordância foi o pão formulado com 5%, com média de notas de 7,26 e coeficiente de concordância de 39,47%, seguido da amostra padrão, com um coeficiente de concordância de 39,36%.

Para o parâmetro sensorial aparência, também verificou-se que, o maior coeficiente de concordância de 42,23%, foi obtido para o pão formulado com 5% de FRG. Com relação ao parâmetro aroma, observa-se que a maior média de notas foi obtida para o pão padrão, com o valor médio de 7,18 e o coeficiente de concordância de 37,96%. Quanto ao parâmetro textura, verificou-se que a maior média e o melhor coeficiente de concordância, foram obtidos para o pão com adição de 5%, com valores de 7,30 e 39,24%, respectivamente.

Para o parâmetro sensorial sabor, obteve-se a maior média para o pão padrão, cujo valor foi de 7,36. Quando se avalia o melhor coeficiente de concordância, percebe-se que o pão formulado com 5% apresentou o maior valor de 40,60%, para a média de 7,28.

De modo geral, observou-se que o pão formulado com 5% de FRG, obteve os melhores coeficientes de concordância, juntamente com o pão padrão formulado sem a adição de FRG, obteve os maiores índices de aceitabilidade entre os julgadores. Resultado similar foi obtido por Maia et al. (2015), ao relatarem que o maior índice de aceitação foi obtido para o pão elaborado com 5% de adição da farinha de coco, sendo superior aos pães formulados com 0 e 7,5% da farinha, em todos os atributos avaliados.

Tabela III.4.5 - Dados das médias e coeficiente de concordância entre julgadores (CC) da análise sensorial do pão padrão e com adição de farinha de resíduo de gergelim, quanto aos parâmetros cor, aparência, aroma, textura e sabor

Tratamentos	Parâmetros									
	Cor		Aparência		Aroma		Textura		Sabor	
	Média	CC(%)	Média	CC(%)	Média	CC(%)	Média	CC(%)	Média	CC(%)
Padrão (0%)	7,56	39,36%	7,70	41,15%	7,18	37,96%	7,22	38,32%	7,36	38,43%
5%	7,26	39,47%	7,48	42,23%	6,74	29,72%	7,30	39,24%	7,28	40,60%
10%	7,08	33,96%	7,02	37,60%	6,22	24,21%	6,64	34,09%	5,82	22,47%
15%	6,44	27,19%	6,24	24,76%	6,08	22,45%	6,32	33,56%	5,54	23,83%

III.4.5.1 - Perfil sensorial dos pães

Na Figura III.4.1 observa-se o perfil sensorial do pão formulado com diferentes concentrações de farinha de resíduo de gergelim.

Os resultados referentes aos parâmetros cor, aparência, aroma, textura e sabor mostraram que a maioria das avaliações dadas pelos julgadores foram superiores a seis, exceto ao avaliarem o parâmetro sabor dos pães formulados com 10 e 15% de FRG, onde atribuíram valores em torno de cinco, o sabor mais forte presente nestas amostras, pode ter influenciado negativamente no nível de aceitação dos julgadores. STIKIC et al. (2012), ao avaliarem a qualidade sensorial de pães contendo quinoa, verificaram que concentrações superiores a 15% provocaram a alteração do sabor, tornando o pão ligeiramente amargo.

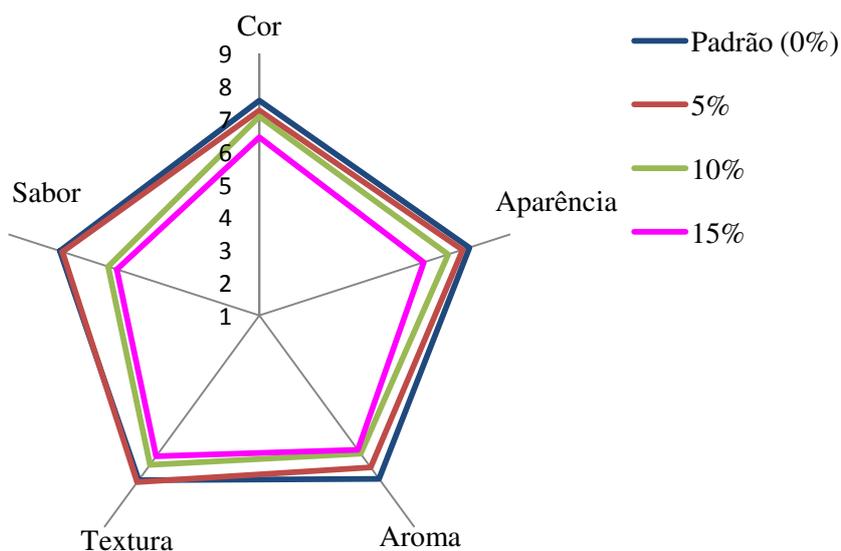


Figura III.4.1 - Atributos avaliados no escore de pontos do pão padrão e com farinha de resíduo de gergelim (FRG), em diferentes concentrações.

III.4.5.2 - Avaliação da intenção de consumo dos pães

Na Figura III.4.2 encontra-se o percentual de intenção de consumo da amostra de pão padrão, sem adição de farinha de resíduo de gergelim.

Contata-se que nenhum dos julgadores alegou que nunca comeria, apenas 4% dos julgadores comeria raramente o produto, 18% dos provadores talvez comeria/talvez não comeria o produto, 38% comeria sempre e a grande maioria, 40% comeria frequentemente o pão padrão sem adição de FRG. De acordo com os resultados obtidos, é possível afirmar que o produto foi bem aceito pelos julgadores.

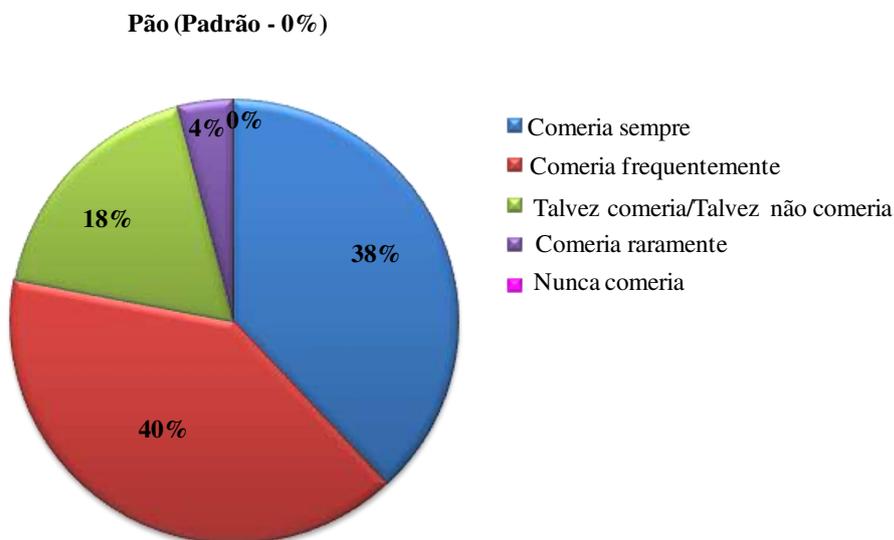


Figura III.4.2 - Intenção de consumo do pão padrão, formulado sem adição de farinha de resíduo de gergelim

Na Figura III.43 encontra-se o percentual de intenção de consumo do pão formulado com 5% de farinha de resíduo de gergelim.

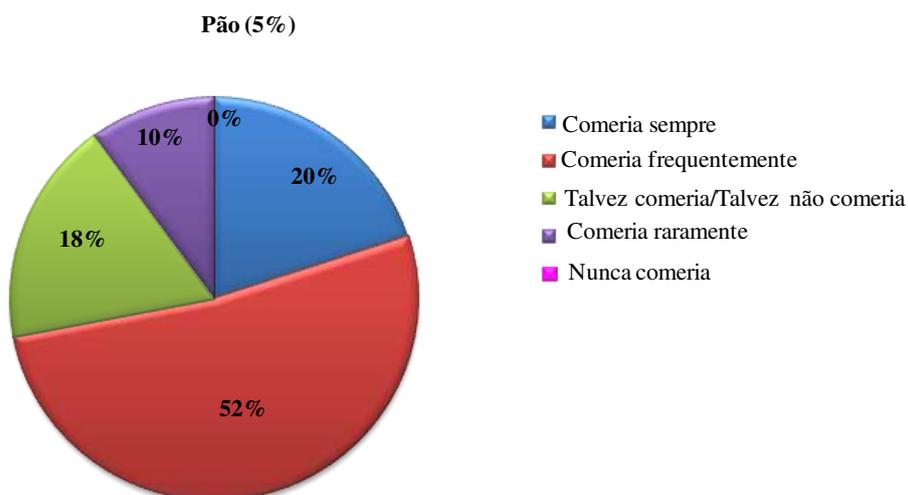


Figura III.4.3 - Intenção de consumo do pão formulado com 5% de farinha de resíduo de gergelim

O pão formulado com 5% obteve bom índice de aceitação pelos julgadores, observa-se para esta formulação que nenhum dos julgadores alegou que nunca comeria, 10% dos julgadores comeria raramente o produto, 18% dos julgadores talvez comeria/talvez não comeria o produto, 20% comeria sempre e a grande maioria, 52% comeria frequentemente este pão.

Na Figura III.4.4 encontra-se o percentual de intenção de consumo do pão formulado com 10% de farinha de resíduo de gergelim.

Verifica-se que apenas 10% dos julgadores alegaram que comeria sempre, 20% dos julgadores comeria frequentemente o produto, a grande maioria formada por 40% dos julgadores afirmaram que talvez comeria/talvez não comeria, 10% comeria raramente, 20% destes julgadores informaram que nunca comeria o produto. Apesar do considerável índice de rejeição, pode-se afirmar que o produto foi razoavelmente aceito pela maioria dos julgadores.

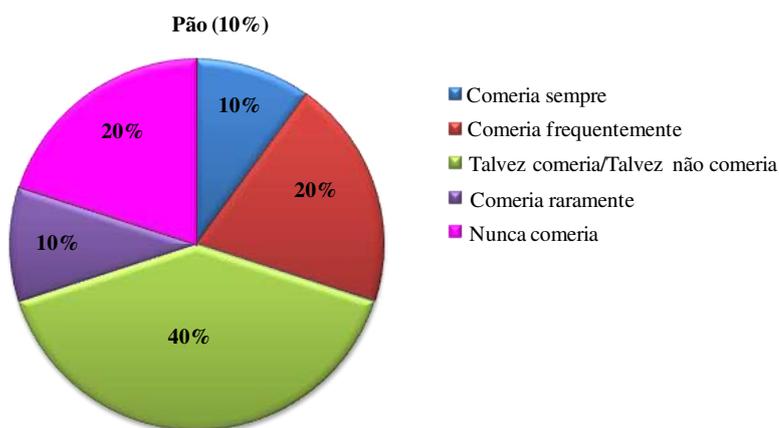


Figura III.4.4 - Intenção de consumo do pão formulado com 10% de farinha de resíduo de gergelim

A intenção de consumo do pão formulado com 15% de farinha de resíduo de gergelim, encontra-se descrito na Figura III.4.5.

Observa-se que a maioria dos julgadores em torno de 38% talvez comeria/ talvez não comeria o produto, 12% dos julgadores comeria frequentemente, 20% dos provadores alegaram que nunca comeria o produto, 24% comeria raramente e, apenas 6% comeria sempre o pão formulado com 15% de FRG. O acréscimo da farinha de resíduo de gergelim nas formulações dos pães, promoveu um índice de rejeição entre os julgadores, onde o pão

formulado com 15% de FRG obteve as menores médias referentes a intenção de consumo, sendo considerado o produto menos atrativo pela maioria dos consumidores.

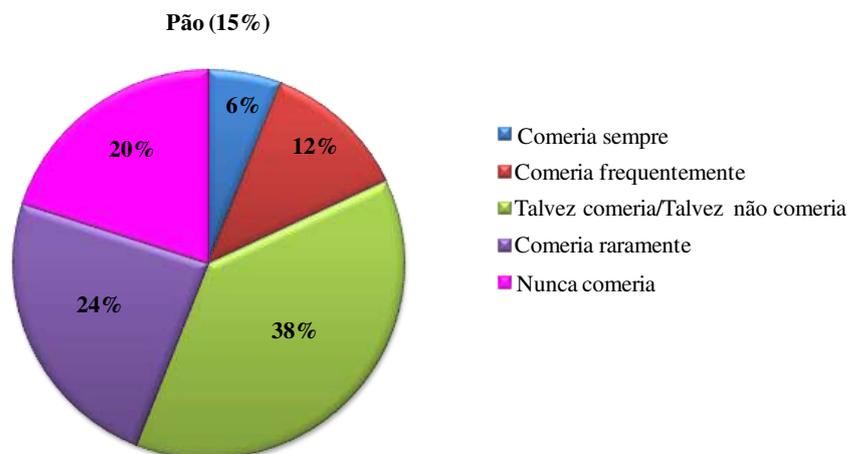


Figura III.4.5 - Intenção de consumo do pão formulado com 15% de farinha de resíduo de gergelim

III.4.6 – Caracterização química, física e físico-química dos biscoitos

Os resultados das análises química, física e físico-química do biscoito padrão e formulado com diferentes concentrações de farinha de resíduo de gergelim (FRG) estão descritos na Tabela III.4.6.

Tabela III.4.6 - Características química, física e físico-química do biscoito padrão e com farinha de resíduo de gergelim (FRG), em diferentes concentrações.

Parâmetros	Teor de FRG			
	Padrão	5%	10%	15%
Teor de água (%)	2,19 b	2,17 b	2,55 b	4,07 a
Lipídeos (%)	23,72 b	24,02 b	26,45 a	26,87 a
pH	5,67 a	5,70 a	5,66 a	5,65 a
Acidez titulável (%)	0,107 a	0,104 a	0,111 a	0,111 a
Cor (L*)	54,42 a	49,05 c	51,55 b	52,31 b
Cor (a*)	6,62 d	10,48 a	8,43 b	7,96 c
Cor (b*)	31,19 a	31,46 a	30,33 ab	29,34 b
Aw	0,297 b	0,298 b	0,300 ab	0,302 a

*Médias seguidas das mesmas letras nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

O teor de água dos biscoitos foi influenciado pelo aumento nas formulações da FRG, onde o valor máximo obtido para este parâmetro foi de 4,07%, para o biscoito formulado com 15% de FRG. De acordo com Oliveira; Nabeshima; Clerici (2014), a umidade está ligada a textura crocante em biscoitos, que é uma propriedade muito importante, uma vez que biscoitos que absorvem umidade durante armazenamento perdem a crocância, o que acarreta danos sensoriais ao produto. Os biscoitos elaborados neste estudo encontram-se dentro dos padrões da legislação vigente para biscoitos (BRASIL, 1978), que determina o máximo de 14%. Os resultados obtidos neste estudo foram inferiores aos reportados por Clerici; Oliveira; Nabeshima (2013) que obtiveram os teores de 5,96 para o cookie padrão e 4,79 para o cookie elaborado com 10% de FDG. Firmino; Sila; Sousa (2005) ao elaborarem o biscoito com FDG, encontraram um teor de 1,40.

Os biscoitos elaborados com FRG obtiveram teores de lipídios superiores em relação ao biscoito padrão, onde os teores variaram entre 23,72 a 26,87, aumentando em função do acréscimo da farinha de gergelim, tal fato deve-se ao elevado teor de lipídio contido na farinha de resíduo de gergelim. Os valores obtidos para este parâmetro foram semelhantes ao encontrado por Santos et al. (2011) para o biscoito de farinha de buriti com adição de aveia, no qual o teor de lipídios foi igual a 22,46%.

Quanto ao pH, verificou-se que os biscoitos não diferiram estatisticamente em função das formulações utilizadas, os valores obtidos foram muito próximos em torno de 5,7, estando abaixo da faixa considerada normal para biscoitos (entre 6,5 e 8,0), conforme referido por Pyler (1982). Observa-se ainda, que houve uma redução deste parâmetro em função do acréscimo da concentração da FRG. Comportamento semelhante foi observado por Acorsi (2009) ao relatarem a redução do pH dos biscoitos em função do aumento da concentração de farinha de pinhão.

Os teores de acidez determinados para os biscoitos com diferentes concentrações de FRG, variaram entre 0,104 a 0,111%, sendo observado o aumento deste parâmetro à medida que houve o incremento das formulações dos biscoitos. Estes valores ficaram dentro dos padrões estabelecidos para biscoitos pela legislação (BRASIL, 1978), que determina acidez em solução normal com máximo de 2,0 mL/100 g. Contrariamente, Andrade (2013) observou a redução da acidez titulável de 0,20, 0,17 e 0,16% de ácido cítrico, na elaboração de biscoitos com as concentrações de 10, 20 e 30% de farinha de banana verde.

O parâmetro L^* do biscoito padrão foi superior aos valores obtidos para os biscoitos elaborados com diferentes concentrações de FRG, cujo fato demonstra que os biscoitos formulados com FRG tiveram um maior escurecimento em relação ao biscoito padrão. Os biscoitos produzidos neste estudo apresentaram valores inferiores de luminosidade L^* , aos reportados por Oliveira; Nabeshima; Clerici (2014) para o cookie elaborado com 10% de FDG (65,64); no entanto, estes valores foram similares aos relatados por Andrade (2013), em biscoitos formulados com 10, 20 e 30% de farinha de banana verde, que obteve os valores de L^* de 53,66, 54,14 e 56,55, respectivamente.

Os valores do parâmetro a^* foram inferiores para o biscoito padrão em relação aos biscoitos formulados com FRG. A redução do parâmetro a^* , observado no biscoito padrão, provavelmente, ocorreu devido o biscoito ter sido formulado apenas com farinha de trigo, tornando-o mais claro que os demais biscoitos.

Os biscoitos elaborados neste trabalho obtiveram valores do parâmetro b^* superiores aos reportados por Perez e Germani (2007), para biscoitos elaborados com farinha de berinjela ($b^*= 18,85$ a $20,73$); e por Oliveira et al. (2014), ao desenvolverem *cookies* com farinha desengordurada de gergelim e amido resistente ($b^*= 23,25$ a $24,42$). Observa-se ainda, que os biscoitos formulados com 10% e 15% de FRG diferiram estatisticamente dos demais tratamentos, porém, pode-se perceber que houve a predominância da cor amarela em todos os biscoitos avaliados.

A atividade de água (A_w) variou entre 0,297 a 0,302, apenas os biscoitos formulados com 10 e 15% de FRG diferiram estatisticamente das demais concentrações, verifica-se ainda que este parâmetro aumentou em função da adição de FRG na formulação dos biscoitos. Baptista et al. (2012) também verificaram o aumento da A_w com a adição da *Moringa oleifera* na formulação de biscoito tipo *cookies*.

III.4.7 - Textura dos biscoitos

Na Tabela III.4.7, tem-se os resultados dos parâmetros de textura dos biscoitos elaborados com diferentes concentrações de farinha de resíduo de gergelim.

Com relação ao parâmetro firmeza, verifica-se que os tratamentos avaliados não diferiram estatisticamente, tal fato indica que a incorporação da farinha de resíduo de gergelim não provocou alterações significativas na firmeza dos biscoitos. Os valores de firmeza obtidos neste estudo foram superiores aos determinados por Moura et al. (2014),

ao produzirem biscoitos enriquecidos com farinha de linhaça marrom, cujos valores variaram entre 83 a 112 N. A textura mais dura em biscoitos pode ser atribuída ao aumento do conteúdo de proteína e sua interação durante o desenvolvimento da massa e seu assamento (MCWATERS et al., 2003).

Tabela III.4.7 - Medidas dos parâmetros de textura (firmeza, coesividade, elasticidade, mastigabilidade e resistência à quebra) dos biscoitos formulados com diferentes concentrações de farinha de resíduo de gergelim

Tratamentos	Parâmetros				
	Firmeza	Coesividade	Elasticidade	Mastigabilidade	Resistência à quebra
Padrão	345,63 a	0,63 a	0,52 b	126,71 b	19,36 a
5%	385,57 a	0,62 a	0,51b	124,09 b	15,48 ab
10%	405,92 a	0,68 a	0,60 ab	171,90 a	12,90 ab
15%	446,69 a	0,72 a	0,62 a	174,81 a	11,93 b
DMS	136,0	0,10	0,09	17,98	7,01

*Médias seguidas das mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Quanto à coesividade dos biscoitos, pode-se avaliar que não houve variação significativa entre as formulações avaliadas, entretanto, verifica-se que o incremento da farinha de resíduo de gergelim promoveu o aumento deste parâmetro. A elasticidade dos biscoitos, também aumentou em função do acréscimo de farinha de resíduo de gergelim na substituição parcial da farinha de trigo, não havendo diferença significativa entre os biscoitos formulados com 0% (padrão) e 5% de FRG.

O parâmetro mastigabilidade foi influenciado pela incorporação da farinha de resíduo de gergelim, verifica-se neste estudo, que a energia requerida durante o processo de mastigabilidade foi maior para os biscoitos formulados com a FRG, provavelmente devido ao elevado teor de fibras presente nesta farinha. Conforme relatado por vários autores à incorporação da farinha de gergelim na elaboração de biscoitos, promoveu o aumento significativo no teor de fibra alimentar: biscoitos tipo *cookies* (CLERICI; OLIVEIRA; NABESHIMA, 2013), biscoitos à base de arroz (TAIKETI et al., 2010) e em *cookies* desenvolvidos com farinha desengordurada de gergelim e amido resistente (OLIVEIRA; NABESHIMA; CLERICI, 2014).

A resistência à quebra dos biscoitos foi reduzida com a adição de farinha de resíduo de gergelim nas formulações, a substituição parcial da farinha de trigo por FRG, tornou as amostras mais frágeis e susceptíveis à quebra. Assis et al. (2009) relataram em seu estudo, que a utilização da farinha de arroz parbolizado na substituição da farinha de trigo resultou em biscoitos mais frágeis, em virtude da ausência da rede proteica de glúten no arroz.

III.4.8 - Análise sensorial dos biscoitos

Os resultados do índice de aceitabilidade dos biscoitos formulados com diferentes concentrações de farinha de resíduo de gergelim podem ser observados na Tabela III.4.8.

Tabela III.4.8 - Médias de avaliação de aceitação das amostras de biscoito padrão e com adição de farinha de resíduo de gergelim

Tratamento	Parâmetros				
	Cor	Aparência	Aroma	Textura	Sabor
Padrão	7,46 a	7,58 a	7,34 a	7,56 a	7,18 a
5%	7,24 ab	7,20 ab	6,96 a	7,50 a	7,06 a
10%	6,68 b	6,84 b	6,92 a	6,94 a	6,36 ab
15%	6,68 b	6,86 b	6,66 a	6,96 a	5,92 b
DMS	0,68	0,67	0,73	0,63	0,97

*Médias seguidas das mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Através dos resultados obtidos na análise sensorial das diferentes formulações de biscoito, foi possível verificar uma boa aceitação em relação à maioria dos parâmetros avaliados. Os biscoitos padrão e formulados com 5% de FRG, obtiveram as melhores médias de aceitação em todos os parâmetros avaliados, com escores médios de aceitação superiores a 6,0, estando entre os termos hedônicos “gostei ligeiramente” e “gostei moderadamente”, demonstrando boa aceitação entre julgadores quanto às características avaliadas.

Os biscoitos formulados com 10 e 15% de farinha de resíduo de gergelim obtiveram médias inferiores aos demais tratamentos, com escores médios de aceitação superiores 5,0, situando-se entre os termos “indiferente” e “gostei ligeiramente”, em relação aos parâmetros cor, aparência, aroma, textura e sabor. Estes resultados não

descartam a possibilidade de utilização da farinha de resíduo de gergelim na substituição parcial da farinha de trigo na produção de alimentos com a finalidade de enriquecimento proteico, apesar destas amostras terem obtido um nível de aceitação inferior, é importante frisar que esta farinha apresenta grandes possibilidades de aceitação, visto que o biscoito formulado com 5% de FRG foi bem aceito pelos consumidores.

Observa-se ainda, que as notas atribuídas pelos julgadores reduziram em função do aumento da concentração da farinha de resíduo de gergelim, sendo esta redução mais evidente com relação ao parâmetro sabor, isto pode ter ocorrido devido ao sabor mais forte, característico desta farinha.

Clerici; Oliveira; Nabeshima (2013) verificaram que o aumento da substituição da farinha de trigo por farinha desengordurada de gergelim interferiu na aceitação dos *cookies* pelos julgadores, onde os *cookies* formulados com a concentração F3 (30% de FDG) obteve o menor índice de aceitação.

Na Tabela III.4.9 têm-se as médias e os coeficientes de concordância entre julgadores (CC) da análise sensorial do pão padrão e com adição de farinha de resíduo de gergelim, quanto aos parâmetros cor, aparência, aroma, textura e sabor.

Tabela III.4.9 - Dados das médias e coeficiente de concordância entre julgadores (CC) da análise sensorial do biscoito padrão e com adição de farinha de resíduo de gergelim, quanto aos parâmetros cor, aparência, aroma, textura e sabor.

Tratamentos	Parâmetros									
	Cor		Aparência		Aroma		Textura		Sabor	
	Média	CC(%)	Média	CC(%)	Média	CC(%)	Média	CC(%)	Média	CC(%)
Padrão (0%)	7,46	40,04%	7,58	43,90%	7,34	42,86%	7,56	46,87%	7,18	41,04%
5%	7,24	45,31%	7,20	40,71%	6,96	36,14%	7,50	38,43%	7,06	33,96%
10%	6,68	39,93%	6,84	36,48%	6,92	33,82%	6,94	36,01%	6,36	26,68%
15%	6,68	33,02%	6,86	36,51%	6,66	33,09%	6,96	36,36%	5,92	24,76%

Em relação ao parâmetro cor, observa-se que o tratamento com maior concordância foi obtido para o biscoito formulado com 5% de FRG, com média de notas de 7,24 e coeficiente de concordância de 45,31%, seguido da amostra padrão, com um coeficiente de concordância de 40,04%.

Para o parâmetro sensorial aparência, verifica-se que, o maior coeficiente de concordância de 43,90%, foi obtido para o biscoito padrão. Observa-se ainda, que as médias de notas e os coeficientes de concordância para este parâmetro reduziram em função do acréscimo da farinha de resíduo de gergelim na formulação dos biscoitos. Aquino et al. (2010) também verificaram que as notas atribuídas ao parâmetro aparência para os cookies elaborados com farinha resíduo de acerola, diminuíram com o aumento da concentração da farinha.

Com relação ao parâmetro aroma, observa-se que a maior média de notas foi obtida para o biscoito padrão, com o valor médio de 7,34 e o coeficiente de concordância de 42,86%. Quanto ao parâmetro textura, também verifica-se que a maior média e o melhor coeficiente de concordância, foram obtidos para o biscoito padrão formulado sem a adição de farinha de resíduo de gergelim, com valores de 7,56 e 46,87%, respectivamente. O biscoito padrão, também obteve a maior média com relação ao parâmetro sabor, cujo valor foi de 7,18 e o melhor coeficiente de concordância, de 41,04%.

O biscoito padrão obteve os melhores índices de aceitação entre os julgadores quando comparado aos biscoitos formulados com farinha de resíduo de gergelim, a incorporação da FRG promoveu uma redução das médias atribuídas pelos julgadores aos parâmetros avaliados.

Acorsi et al. (2009) observaram que apesar dos biscoitos apresentarem uma alta aceitabilidade para as formulações testadas, houve uma redução do índice de aceitação das amostras em função do acréscimo de farinha de pinhão.

III.4.8.1 - Perfil sensorial dos biscoitos

Na Figura III.4.6 observa-se o perfil sensorial do biscoito formulado com diferentes concentrações de farinha de resíduo de gergelim.

De acordo com o perfil sensorial, percebe-se que o biscoito padrão obteve as maiores médias de aceitação entre os julgadores para todos os parâmetros avaliados. Para os biscoitos formulados com a farinha de resíduo de gergelim, pode-se observar que a

amostra formulada com 5% obteve um bom nível de aceitação, onde a médias obtidas para os parâmetros sensoriais cor, sabor e textura, ficaram praticamente sobrepostas aos valores atribuídos para a formulação padrão. Os biscoitos formulados com 10 e 15% de FRG obtiveram médias inferiores às demais amostras, a incorporação da farinha nestas formulações pode ter influenciado negativamente, contribuindo para o menor nível de aceitação destas amostras, o fato dos julgadores não terem o hábito de consumir produtos a base de farinha de resíduo de gergelim pode ter sido o motivo do resultado obtido para estes biscoitos.

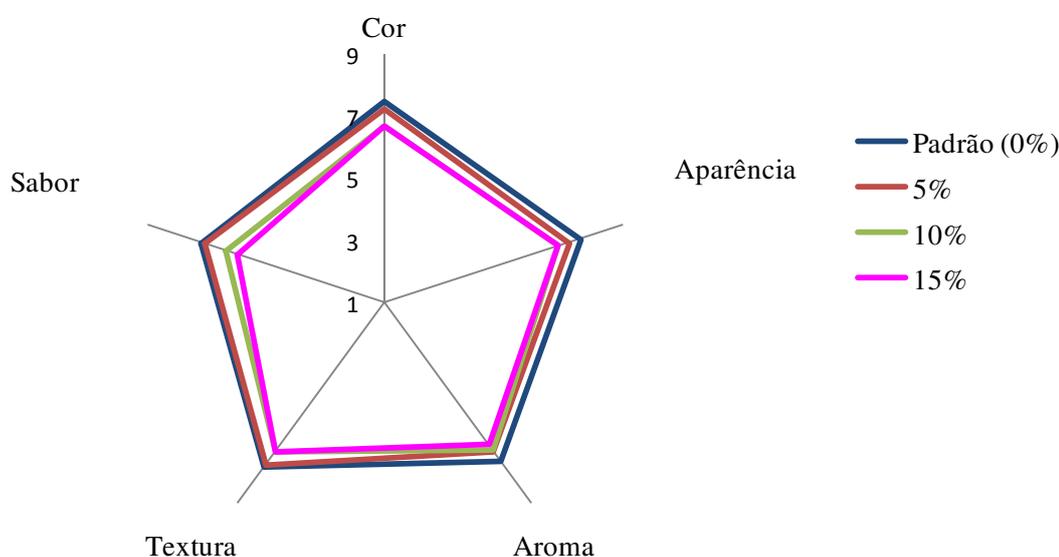


Figura III.4.6 - Atributos avaliados no escore de pontos do biscoito padrão e com farinha de resíduo de gergelim (FRG), em diferentes concentrações.

III.4.8.2 - Avaliação da intenção de consumo dos biscoitos

Na Figura III.4.7 encontra-se o percentual de intenção de consumo do biscoito padrão, sem adição de farinha de resíduo de gergelim.

O biscoito padrão obteve uma boa aceitação, onde 32% dos julgadores informaram que comeria sempre, a maioria composta por 36% alegou que comeria frequentemente, 20% dos julgadores talvez comeria/talvez não comeria o produto, 6% afirmaram que comeria raramente, outros 6% alegaram que nunca comeria os biscoitos.

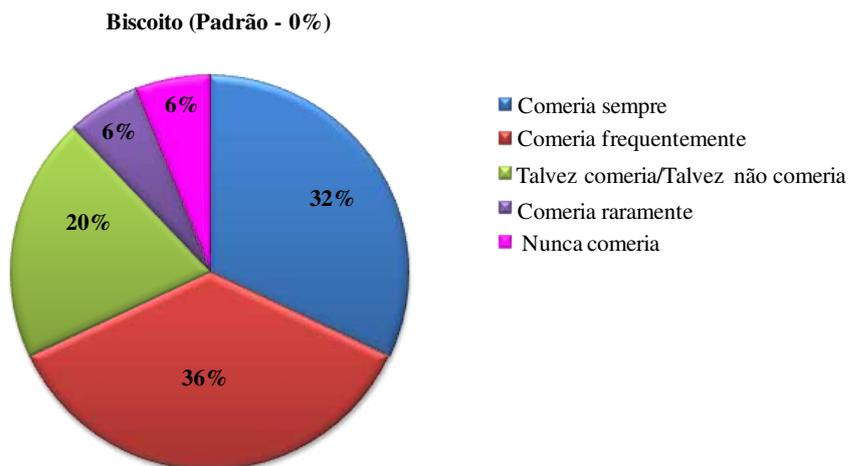


Figura III.4.7 - Intenção de consumo do biscoito padrão, formulado sem adição de farinha de resíduo de gergelim.

Na Figura III.4.8 encontra-se o percentual de intenção de consumo do biscoito formulado com 5% de farinha de resíduo de gergelim.

O biscoito formulado com 5% obteve bom índice de aceitação pelos julgadores, observa-se para esta formulação que apenas 4% dos julgadores alegou que nunca comeria, 10% dos julgadores comeria raramente o produto, 28% dos julgadores talvez comeria/talvez não comeria o produto, 26% comeria sempre e a grande maioria, 32% comeria frequentemente o biscoito.

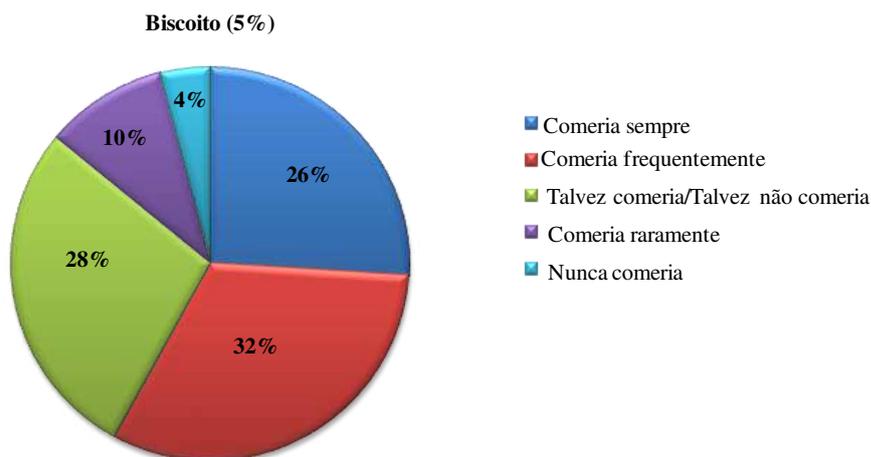


Figura III.4.8 - Intenção de consumo do biscoito formulado com 5% de farinha de resíduo de gergelim.

Na Figura III.4.9 encontra-se o percentual de intenção de consumo do biscoito formulado com 10% de farinha de resíduo de gergelim.

Constata-se que apenas 12% dos julgadores alegaram que comeria sempre, a grande maioria formada por 34% dos julgadores afirmaram que comeria frequentemente o produto, 20% dos julgadores afirmaram que talvez comeria/talvez não comeria, 22% comeria raramente, 12% destes julgadores informaram que nunca comeria o produto.

Apesar da incorporação da farinha de resíduo de gergelim na formulação do biscoito ter promovido uma redução no nível de aceitação, pode-se considerar que o produto foi razoavelmente aceito pela maioria dos julgadores.

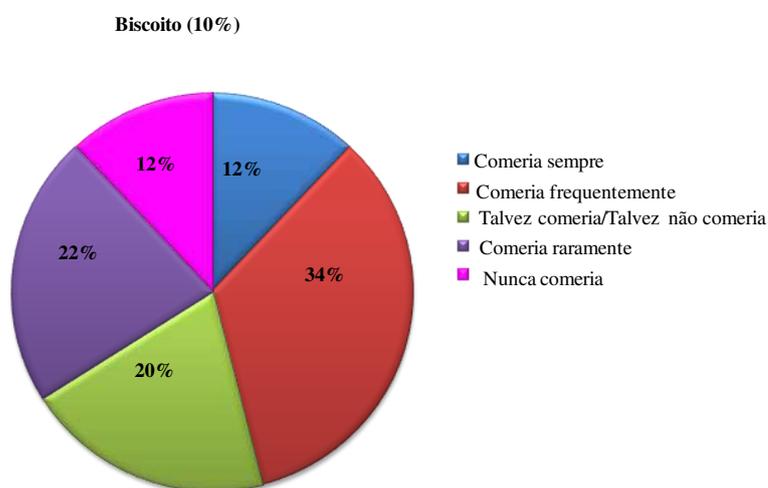


Figura III.4.9 - Intenção de consumo do biscoito formulado com 10% de farinha de resíduo de gergelim.

Na Figura III.4.10 encontra-se o percentual de intenção de consumo do biscoito formulado com 15% de farinha de resíduo de gergelim.

Verifica-se que apenas o percentual de 8% dos avaliadores informou que comeria sempre o produto, 26% dos julgadores afirmou que comeria frequentemente, o mesmo percentual de 26%, foi atribuído por avaliadores que informaram que talvez comeria/talvez não comeria o produto, em torno de 24% alegou que comeria raramente, um percentual de 16% dos julgadores alegou que nunca comeria o biscoito formulado com 15% de FRG. O aumento da substituição parcial da farinha de trigo pela farinha de resíduo de gergelim nas formulações dos biscoitos, interferiu no índice de aceitação entre os julgadores, diminuindo a intenção de consumo do produto.

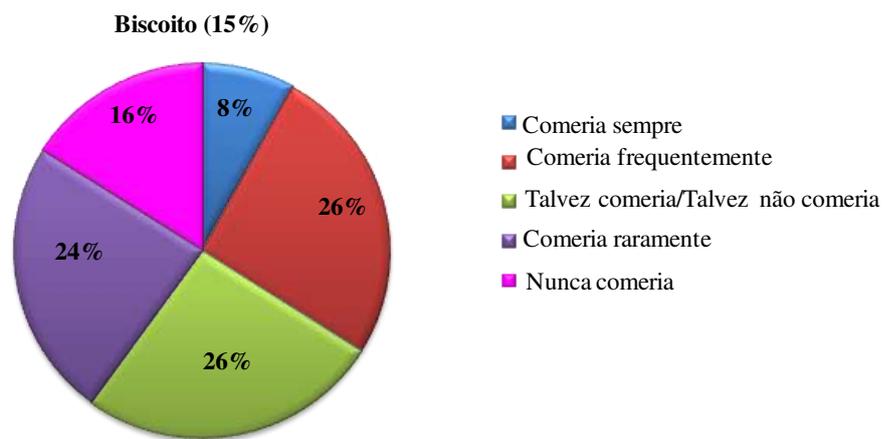


Figura III.4.10 - Intenção de consumo do biscoito formulado com 15% de farinha de resíduo de gergelim.

III.5 - CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos, conclui-se que:

Farinha de resíduo de gergelim (FRG)

- A farinha de gergelim foi considerada como uma boa alternativa para o aproveitamento dos resíduos gerados durante o processo de extração do óleo.
- Os parâmetros determinados na caracterização da farinha de resíduo de gergelim atenderam aos padrões preconizados pela legislação brasileira, sendo considerado um produto de boa qualidade e microbiologicamente estável.

Pão formulado com diferentes concentrações de FRG

- Os resultados obtidos na caracterização físico-química dos pães formulados com diferentes concentrações de farinha de resíduo de gergelim estavam dentro dos padrões desejáveis de consumo.
- A textura dos pães foi influenciada pela incorporação de farinha de resíduo de gergelim, ocorrendo mudanças dos parâmetros avaliados em função da formulação utilizada.
- O aumento das concentrações de farinha de resíduo de gergelim na formulação dos pães provocou uma redução do índice de aceitação dos julgadores, onde o maior índice de rejeição foi obtido para o pão formulado com 15%, com médias inferiores aos demais tratamentos em todos os parâmetros avaliados.
- O pão formulado com a adição de 5% de FRG obteve um bom índice de aceitabilidade entre os julgadores, semelhante às notas atribuídas para o pão da formulação padrão.

Biscoito formulado com diferentes concentrações de FRG

- A substituição parcial de farinha de trigo por farinha de resíduo de gergelim resultou em alterações nas propriedades química, física e físico-química dos biscoitos, entretanto não ocasionou perdas de qualidade do produto.

- A incorporação da farinha de resíduo de gergelim nas concentrações de 0, 5, 10 e 15% alteraram significativamente os parâmetros de textura dos biscoitos, com exceção da firmeza e da coesividade, que permaneceram praticamente constantes.
- Das formulações de biscoitos desenvolvidas com farelo de resíduo de gergelim, a formulação com adição de 5% de FRG obteve a maior aceitabilidade com relação aos atributos sensoriais avaliados, mostrando ser uma alternativa viável para o enriquecimento de alimentos.

III.6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLA, A. L., SILVA FILHO, J. C. DA, GODOI, A. R. DE, CARMO, C. DE A., EDUARDO, J. L. DE P. Utilização de subprodutos da indústria de biodiesel na alimentação de ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 260-268, 2008.

ACORSI, D. M.; BEZERRA, J. R. M. V.; BARÃO, M. Z.; RIGO, M. Viabilidade do processamento de biscoitos com farinha de pinhão. **Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 5, n. 2, p. 207-212, 2009.

AMORIM, A. G.; SOUSA, T. DE A.; SOUZA, A. O. DE. Determinação do ph e acidez titulável da farinha de semente de abóbora (cucurbita maxima). In: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 7, 2012, Palmas. **Anais...Palmas - TO**, 2012.

ANDRADE, C. K. O. **Elaboração de aceitabilidade dos biscoitos enriquecidos com farinha de banana verde**. 2013. 50f. Monografia (Graduação em Ciências Agrárias) - Universidade Estadual da Paraíba, Catolé do Rocha, 2013.

AOAC - ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of AOAC international**. 16. ed. Maryland: AOAC International, 1997. 1141p.

AQUINO, A. C. M. S.; MÓES, R. S.; LEÃO, K. M. M.; FIGUEIREDO, A. V. D.; CASTRO, A. A. Avaliação físico-química e aceitação sensorial de biscoitos tipo cookies elaborados com farinha do resíduo de acerola. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 69, n. 3, p. 379-86, 2010.

ARAÚJO, A. H.; FONTENELE, A. M. M.; MOTA, A. P. M.; DANTAS, F. F.; VERRUMA-BERNADI, M. R. Análise sensorial de água de coco in natura em comparação à pasteurizada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 17., 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: SBCTA, 2000. CD-ROM.

ARRIEL, N. H. C.; VIEIRA, D. J.; FIRMINO, P. T. **Situação atual e perspectivas da cultura do gergelim no Brasil**. Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas para o Nordeste Brasileiro, 2006.

ASSIS, L. M. de; ZAVAREZE, E. da R.; RADÜNZ, A. L.; DIAS, A. R. G.; GUTKOSKI, L. C.; ELIAS, M. C. Propriedades nutricionais, tecnológicas e sensoriais de biscoitos com substituição de farinha de trigo por farinha de aveia ou farinha de arroz parboilizado. **Alimentos Nutrição**, Araraquara, v.20, n.1, p. 15-24, jan./mar. 2009.

BAPTISTA, A. T. A.; SILVA, M. O.; BERGAMASCO, R.; VIEIRA, A. M. S. Avaliação físico-química e sensorial de biscoitos tipo *cookies* elaborados com folha de *Moringa oleífera*. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamentos de Alimentos**, Curitiba, v. 30, n. 1, p. 65-74, jan./jun. 2012

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência nacional de Vigilância Sanitária. Resolução CNNPA. N° 12 de 24 de Julho de 1978. Padrões de Identidade e Qualidade para alimentos e Bebidas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 27 jul 1978.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência nacional de Vigilância Sanitária. Portaria SVS/MS n° 27, de 13 de janeiro de 1998. Regulamento Técnico referente à Informação Nutricional Complementar. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 16 jan 1998.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência nacional de Vigilância Sanitária. Resolução CNNPA. N° 12 de 02 de Janeiro de 2001. Regulamento Técnico sobre os Padrões Microbiológicos para Alimentos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 27 jan 2001.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC n° 263, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. **Diário Oficial da União**, 22 de setembro de 2005.

BORGES, J. T. da S.; VIDIGAL, J. G.; SILVA, N. A. DE S.; PIROZI, M. R.; PAULA, C. D. de. Caracterização físico-química e sensorial de pão de forma contendo farinha mista de

trigo e quinoa. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.15, n.3, p.305-319, 2013.

BORNEO, R; AGUIRRE, A. Chemical composition, cooking quality, and consumer acceptance of pasta made with dried amaranth leaves flour. **LWT - Food Science and Technology**, v. 41, p. 1748–1751, 2008.

BOURNE, M. **Food texture and Viscosity: concept and measurement**. New York: Academic Press. 2002, 427p.

CAVALCANTE, T. A.; AGOSTINI, J. S. Avaliação da qualidade micológica de grãos de milho armazenados na região de Dourados MS. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DE ALIMENTOS, 6., 2005, Campinas. **Resumos...** Campinas: SBCTA, 2005. CD-ROM.

CLERICI, M. T. P. S.; OLIVEIRA, M. E. de; NABESHIMA, E. H. Qualidade física, química e sensorial de biscoitos tipo cookies elaborados com a substituição parcial da farinha de trigo por farinha desengordurada de gergelim. **Brazilian Journal of Food Technology**. Campinas, v. 16, n. 2, p. 139-146, abr./jun. 2013.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.

DIETCHFIELD, C. **Estudo dos métodos para a medida da atividade de água**. 2000. 195f. Dissertação (Mestre em Engenharia Química). Escola Politécnica da USP, São Paulo.

EL-DASH, A. A.; GERMANI, R. **Tecnologia de farinhas mistas: uso de farinhas mistas na produção de biscoitos**. 1. ed. Empresa Brasileira de Pesquisa de Tecnologia Agroindustrial de Alimentos (EMBRAPA – SPI): Brasília, 1994, 47p.

EMBRAPA ALGODÃO. **Cultivo do Gergelim: apresentação do produto**. Campina Grande, 2006. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>

/FontesHTML/. Gergelim/CultivadoGergelim/composicaoquimica.html. Acesso em: 21 de dezembro 2014.

EVANGELHO, J. A. do; PINTO, V. Z.; ZAVAREZE, E. da R.; VANIER, N. L.; DIAS, A. R. G.; BARBOSA, L. M. P. Propriedades tecnológicas e nutricionais de pães preparados com diferentes proporções de farinha de arroz e farinha de arroz extrusada. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.18, n.4, p.264-282, 2012.

FEITOSA, L. R. G. DE F.; MACIEL, J. F.; BARRETO, T. A.; MOREIRA, R. T. Avaliação de qualidade do pão tipo francês por métodos instrumentais e sensoriais. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 2, p. 693-704, 2013.

FERREIRA, S. M. R.; OLIVEIRA, P V. de.; PRETTO, D. Parâmetros de qualidade do pão francês. **B.CEPPA**, Curitiba, v. 19, n. 2, p. 301-318, jul./dez. 2001.

FIGUEIREDO, A.S.; MODESTO FILHO, J. Efeito do uso da farinha desengordurada do *Sesamum indicum* L. nos níveis glicêmicos em diabéticas tipo 2. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v.18, p.77-83, 2008.

FINCO, A. M. DE O.; GARMUS, T. T.; BEZERRA, J. R. M. V.; CÓRDOVA, K. R. V. Elaboração de iogurte com adição de farinha de gergelim. **Revista Ambiência**. v. 7, n. 2, p. 217-227, maio/ago. 2011.

FIRMINO, P. de T. GERGELIM: sistemas de produção e seu processo de verticalização, visando a produtividade no campo e melhoria da qualidade da alimentação humana, Campina Grande: **Embrapa-CNPA**, 1996. (Prêmio Jovem Cientista).

FIRMINO, P. de T.; ARRIEL, N. H. C.; PEREIRA, J. R.; SILVA, M. B. da; ALMEIDA, S. V. DE; SANTOS, E. G. **Aproveitamento de Gergelim (*Sesamum indicum* L) em Produtos Panificáveis**. (Comunicado Técnico) 2000. Campina Grande, PB Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento.

FIRMINO, P. de T.; SILVA, A. C.; SOUSA, M. E. R. de. **Biscoito de gergelim: qualidade nutricional na merenda escolar**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/276115>.

FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. **Microbiologia dos alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1996. 182 p.

GAVA, A. J.; SILVA, C.A.B. da; FRIAS, J. G. **Tecnologia de alimentos: Princípios e aplicações**. p. 95-98, São Paulo: Nobel, 2008.

GIOIELLI, L. A.; LANNES, S. C. S. Análise do perfil de textura de chocolates comerciais tipo cobertura. In: CONGRESO Y EXPOSICION LATINOAMERICANO SOBRE PROCESAMIENTO DE GRASAS, 6, 1995, Campinas. **Anais e Palestras**. Campinas: CLAPG, 2007.

GÓES, M.S.; PEREIRA, C.A.M. Propriedades funcionais da Linhaça. **Revista Nutrição Brasil**. Ano 9, n. 2, p. 132-140, 2010.

GOMES, G. M. S.; REIS, R. C.; SILVA, C. A. D. T. da. Obtenção de farinha de feijão caupi (*vigna unguiculata l. walp*). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.14, n.1, p.31-36, 2012.

GURJÃO, F. F.; QUEIROZ, A. J. DE M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. de; PESSOA, T.; CARNEIRO, G. G; PAIVA, K. M. R. Análise das propriedades sensoriais e aceitação mercadológica do pão de forma enriquecido com farinha de grãos de abóbora. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v.8, n.1, p.1-3, 2014.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 4.ed. Normas analíticas do instituto Adolfo Lutz. São Paulo. v.1, 2008. 1020p.

KLUGE, R.A.; NACHTIGAL, J.C.; FACHINELLO, J.C.; BILHALVA, A.B. **Fisiologia e manejo pós-colheita de frutas de clima temperado**. Campinas: Livraria e Editora Rural, 2002, 214 p.

KOCA, A. F.; ANIL, M. Short communication effect of flaxseed and wheat flour blends on dough rheology and bread quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.87, p. 1172-1175, 2007.

LIMA, J. R.; SILVA, M. A. A. P.; GONÇALVES, L. A. G. Caracterização sensorial de amêndoas de castanha-de-caju fritas e salgadas. **Ciência e Tecnologia de alimentos, Campinas**, v. 19, n 1, p. 123-126. 1999.

MACIEL, L.M.B. **Utilização da Farinha de Linhaça (*linum usitatissimum L.*) no Processamento de Biscoito Tipo “Cracker”: Características Físico-químicas, Nutricionais e Sensoriais.** 2006. 76f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

MAIA, G. A.; CALVETE, Y. M. A.; TELLES, F. J. S.; MONTEIRO, J. C. S.; SALES, M. G. Eficiência da farinha desengordurada de gergelim como complemento protéico da farinha extrudada de caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 7, p. 1295-1303, 1999.

MAIA, J. D.; BARROS, M. de O.; CUNHA, V. C. M.; SANTOS, G. R. dos; CONSTANT, P. B. L. Estudo da aceitabilidade do pão de forma enriquecido com farinha de resíduo da polpa de coco. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.17, n.1, p.1-9, 2015.

MCWATTERS, K. H.; OUEDRAOGO, J. B.; RESURRECCION, A. V. A.; HUNG, Y. C.; PHILLIPS, R. D. Physical and sensory characteristics of sugar cookies containing a mixture of fonio (*Digitaria exilis*) and cowpea (*Vigna unguiculata*) flours. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 38, n. 4, p. 403-410, 2003.

MELCHIADES, F. G.; BOSCHI, A. O. Cores e Tonalidades em Revestimentos Cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, v. 4, p. 1-6, 1999.

MELLO, V.D.; LAAKSONEN, D.E. Fibras na dieta: tendências atuais e benefícios à saúde na síndrome metabólica e no diabetes melito tipo 2. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia**, v. 53, n.5, p. 509-508, 2009.

MILANI, M.; GONDIM, T. M. S.; COUTINHO, D. **Cultura do gergelim**, Circular Técnica 83, Campina Grande, p. 1-10, 2005.

MINIM, V. P. R.; DANTAS, M. I. S. Avaliação sensorial de produtos minimamente processados. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE PROCESSAMENTO MÍNIMO DE FRUTAS E HORTALIÇAS, 3., 2004, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2004. p. 33-37, 2004.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Identificação das Alternativas Tecnológicas de Controle, Tratamento e Reuso de Resíduos Industriais**. 2006. Disponível em : http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/item_8.pdf. Acesso em: 12/01/ 2015.

MOHDALY, A. A. A.; SMETANSKA, I.; RAMADAN, M. F.; SARHAN, M. A.; MAHMOUD, A. Antioxidant potential of sesame (*Sesamum indicum*) cake extract in stabilization of sunflower and soybean oils. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 34, p. 952-959, 2011.

MONTE, A. L. S.; FAÇANHA, S. H. F.; FERREIRA, N. D. L.; LOPES, J. C.; SOUSA, M. A. F.; SOUSA, M. A. Qualidade sanitária de polpa de frutas congeladas e comercializadas na cidade de Sobral, Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 18., 2002, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: CBTA, 2002 CD-ROM.

MORAES, K. S.; ZAVAREZE, E. R.; MIRANDA, M. Z.; SALAS-MELLADO, M. M. Avaliação tecnológica de biscoitos tipo cookie com variações nos teores de lipídios e de açúcar. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, p. 233-242, 2010.

MOREIRA, M. R. **Elaboração de pré-mistura para pão sem glúten para celíacos**. 2007. 104 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MORENO, H. O.; DELLANOCE, P. GUASTAFERRO, E. A. **Efeitos da aplicação de amido resistente na fabricação de pão de forma**. Escola de Engenharia Mauá – Instituto Mauá de Tecnologia, 2010.

MOSSMANN, D. L. **Elaboração de biscoito salgado sem glúten com fibras**. Porto Alegre, 2012. 65 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Alimentos). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.

MOURA, C. C. de; PETER, N.; SCHUMACKER, B. de O.; BORGES, L. R.; HELBIG, E. Biscoitos enriquecidos com farelo de linhaça marrom (*Linum usitatissimum* L.): valor nutritivo e aceitabilidade. **Demetra: Alimentação, Nutrição & Saúde**, v.9, n. 1, p. 71-81, 2014.

NASCIMENTO, E. M. da G. C. do. **Elaboração de produtos de milho enriquecidos com grãos e torta semi-desengordurada de gergelim por extrusão termoplástica**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. 2010.

OLIVEIRA, D. M.; FIRMINO, P. DE T.; MARQUES, D. R., KWIATKOVSKI, A., GIRIBONI, A. R. M.; SILVA, A. C.; SOUSA, J. DOS S. Caracterização físico-química dos co-produtos (óleo e torta) do gergelim cv. CNPA-G4. **Revista Tecnológica**, Edição Especial V Simpósio de Engenharia, Ciência e Tecnologia de Alimentos, pp. 37-42, 2011.

OLIVEIRA, M. E.; NABESHIMA, E. H.; CLERICI, M. T. P. S. Avaliação sensorial e tecnológica de cookies desenvolvidos com farinha desengordurada de gergelim e amido resistente. **Revista Agrotecnologia**, Anápolis, v. 5, n. 1, p. 115 - 128, 2014.

OLIVEIRA, N. M. A. L.; MACIEL, J. F.; LIMA, A. S.; SALVINO, E. M.; Maciel, C. E. P.; Oliveira, D. P. M. N. Características físico-químicas e sensoriais de pão de forma

enriquecido com concentrado proteico de soro de leite e carbonato de calcio. **Revista Instituto Adolfo Lutz**. São Paulo, v. 70, n. 1, 2011.

ORDÓÑEZ J. A. **Tecnologia de alimentos: alimentos de origem animal**. Porto Alegre: Artmed; 2005. 280 p.

ORTOLAN, F.; HECKTHEUER, L. H.; MIRANDA, M. Z. de. Efeito do armazenamento à baixa temperatura (-4 °C) na cor e no teor de acidez da farinha de trigo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, n.1, pp. 55-59, 2010.

PEREZ, P. M. P.; GERMANI, R. Elaboração de biscoitos tipo salgado, com alto teor de fibra alimentar, utilizando farinha de berinjela (*Solanum melongena*, L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n.1, pp. 186-192, 2007.

PURLIS, E. Bread baking: technological considerations based on process modeling and simulation. **Journal of Food Engineering**, v. 103, n. 1, p. 92-102, 2011.

PYLER, E.J. **Baking science & technology**. 2nd ed. Chicago: Siebel Publ., 1982. v.1, p.121-163.

QUEIROGA, V.P.; SILVA, O. R. R. F. **Tecnologias utilizadas no cultivo do gergelim mecanizado**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2008. 142p. (Embrapa Algodão. Documentos, 203).

SANTOS, C. A. DOS; RIBEIRO, R. C.; SILVA, E. V. COSTA DA; SILVA, N. DA S.; SILVA, B. A. DA; SILVA, G. F. DA; BARROS, B. DE C. V. Elaboração de biscoito de farinha de buriti (*mauritia flexuosa l. f*) com e sem adição de aveia (*avena sativa l.*). **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, Ponta Grossa – PR, v. 5, n. 1, p 262-273, 2011.

SHENOY H., A.; PRAKASH, J. Wheat bran (*Triticum aestivum*): composition, functionality and incorporation in unleavened bread. **Journal of Food Quality**. v.25, n.3, p. 197 – 211, 2007.

SILVA, C. B. **Efeito da adição de xilanase, glicose oxidase e ácido ascórbico na qualidade do pão de forma de farinha de trigo de grão inteiro**. 2007. 149f. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SILVA, L. H. da; PAUCAR-MENACHO, L. M.; VICENTE, C. A.; SALLES, A. S.; STEEL, C. J. Desenvolvimento de pão de forma com a adição de farinha de “okara”. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, n. 4, p. 315-322, 2009.

SILVA, F. A. S.; DUARTE, M. E. M; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. Nova metodologia para interpretação de dados de análise sensorial de alimentos. **Revista Engenharia Agrícola**. v.30, n.5, p.967-973, 2010.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. A New Version of The Assisat-Statistical Assistance Software. In: World Congress on Computers in Agriculture, 4, Orlando-FL-USA: **Anais...** Orlando: American Society of Agricultural Engineers, p.393-396, 2010.

SOARES, M. S.; SOUSA, C. L.; RIBEIRO, J. S.; BRASIL, L. S. N. S.; TAVARES, V. S. Incidência de coliformes em pastéis consumidos na cidade de Belém – Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 18., 2002, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: CBCTA, 2002. CD-ROM.

SOUZA, J. M. de; ÁLVARES, V. de S.; LEITE, F. M. N.; REIS, F. S.; FELISBERTO, F. A. V. Caracterização físico-química de farinhas oriundas de variedades de mandioca utilizadas no vale do Juruá, Acre. **Acta Amazônica**. v. 38, n. 4, p. 761-766, 2008.

STIKIC, R.; GLAMOCLJIA, D; DEMIN, M.; VUCELIC-RADOVIC, B.; JOVANOVIC, Z.; MILOJKOVIC-OPSENICA, D.; JACOBSEN, S. E.; MILOVANOVIC, M. Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds (quinoa Willd.) as an ingredient in bread formulations. **Journal of Cereal Science**, v.55, n.2, p.132-138, 2012.

STONE, H. S.; SIDEL, J. L. **Sensory evaluation practices**. San Diego: Academic Press, 1993. 308p.

SUBRAMANIAN, N. Technology of vegetable protein foods. **Journal Food Science Technology**, 17, jan./april 1980.

TAKEITI, C. Y.; CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. L. R.; FREITAS, D. G.; MOREIRA, D. K. T.; BARCELOS, M. F. P. **Utilização parcial de farinha extrudada de gergelim em biscoitos à base de arroz.** (Comunicado Técnico) 2010. Rio de Janeiro: Embrapa.

UCHÔA, A. M. A. **Adição de pós alimentícios obtidos de resíduos de frutas tropicais na formulação de biscoitos.** 2007. 97 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

APÊNDICE

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**ESTUDO: Processamento do Gergelim: extração de óleo de gergelim e aproveitamento dos resíduos para produção de alimentos**

Você está sendo convidado (a) a participar do projeto de pesquisa acima citado. O documento abaixo contém todas as informações necessárias sobre a pesquisa que estamos fazendo. Sua colaboração neste estudo será de muita importância para nós, mas se desistir a qualquer momento, isso não causará nenhum prejuízo a você.

Eu, _____ (inserir o nome, profissão)_____

residente e domiciliado na _____
_____, portador da Cédula de identidade,
RG _____, e inscrito no CPF:
_____ nascido(a) em ____ / ____ / _____, abaixo
assinado(a), concordo de livre e espontânea vontade em participar como
voluntário(a) do estudo “Processamento do Gergelim: extração de óleo de
gergelim e aproveitamento dos resíduos para produção de alimentos”.
Declaro que obtive todas as informações necessárias, bem como todos os
eventuais esclarecimentos quanto às dúvidas por mim apresentadas.

Estou ciente que:

- I) O estudo se faz necessário para que seja avaliada a preferência do provador, quanto aos melhores tratamentos para obtenção de pães formulados a base de farinha de resíduo de gergelim. Tenho consciência, das possíveis alergias ou alterações metabólicas que poderão ser causadas pelo produto, caso seja alérgico ao gergelim, ou apresente restrições alimentares por ser celíaco.

- II) Essa (s) coleta(s) serão feitas apenas para este estudo, com resguardo da identidade do provador.
- III) Tenho a liberdade de desistir ou de interromper a colaboração neste estudo no momento em que desejar, sem necessidade de qualquer explicação;
- IV) A desistência não causará nenhum prejuízo à minha saúde ou bem estar físico;
- V) Os resultados obtidos durante este ensaio serão mantidos em sigilo, mas concordo que sejam divulgados em publicações científicas, desde que meus dados pessoais não sejam mencionados;
- VI) Caso eu desejar, poderei pessoalmente tomar conhecimento dos resultados, ao final desta pesquisa.
() Desejo conhecer os resultados desta pesquisa.
() Não desejo conhecer os resultados desta pesquisa.

IX) Observações Complementares;

X) Caso me sinta prejudicado (a) por participar desta pesquisa, poderei recorrer ao CEP/HUAC, do Comitê de Ética em Pesquisas em Seres Humanos do Hospital Universitário Alcides Carneiro, ao Conselho Regional de Medicina da Paraíba e a Delegacia Regional de Campina Grande.

Campina Grande, 2 de Junho de 2015.

Testemunha 1 : _____
Nome / RG / Telefone

Testemunha 2 : _____
Nome / RG / Telefone

Responsável pelo Projeto: Débora Rafaelly Soares Silva
Telefone para contato: (83) 33221487/98692938

TESTE DE ACEITAÇÃO

Processamento do Gergelim: extração de óleo de gergelim e aproveitamento dos resíduos para produção de alimentos

Nome: _____ Idade: _____

Sexo: Masculino Escolaridade: Alfabetizado
 Feminino Ensino médio
 Superior incompleto
 Superior completo

Você está recebendo quatro amostras de pães formulados a base de farinha de resíduo de gergelim. Por favor, avalie as amostras utilizando a escala abaixo para descrever o quanto você gostou ou desgostou do produto. Marque o valor da escala que melhor represente seu julgamento.

- 9 – Gostei Extremamente
- 8 – Gostei Muito
- 7 – Gostei Moderadamente
- 6 – Gostei Ligeiramente
- 5 – Indiferente
- 4 – Desgostei Ligeiramente
- 3 – Desgostei Moderadamente
- 2 – Desgostei Muito
- 1 – Desgostei Extremamente

Amostra	Cor	Aparência	Aroma	Textura	Sabor

Comentários: _____

PERFIL DE ATITUDE

Por favor, prove as amostras e utilize a escala numérica para avaliar a escala de frequência de consumo do produto. Atribua a cada amostra um valor que melhor reflita sua ação.

- (5) Comeria sempre
- (4) Comeria frequentemente
- (3) Talvez comeria/Talvez não comeria
- (2) Comeria raramente
- (1) Nunca comeria

Amostra	Impressão Global

Comentários: _____
