



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
COPEAG - CGORD. DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. AGRÍCOLA



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Dissertação de Mestrado

**SEMENTES DE AMENDOIM (*Arachis hypogaea* L.)
ARMAZENADAS SOB CONDIÇÕES CONTROLADAS:
PROPRIEDADES FÍSICAS, HIGROSCOPICIDADE
E QUALIDADE FISIOLÓGICA**

JOSÉ SALES ALVES WANDERLEY JÚNIOR

**Campina Grande
Paraíba**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**



DISSERTAÇÃO

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO ARMAZENAMENTO E PROCESSAMENTO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS

**SEMENTES DE AMENDOIM (*Arachis hypogaea* L.) ARMAZENADAS SOB
CONDIÇÕES CONTROLADAS: PROPRIEDADES FÍSICAS,
HIGROSCOPICIDADE E QUALIDADE FISIOLÓGICA**

JOSÉ SALES ALVES WANDERLEY JÚNIOR

**Campina Grande – Paraíba
ABRIL – 2010**

**SEMENTES DE AMENDOIM (*Arachis hypogaea* L.) ARMAZENADAS SOB
CONDIÇÕES CONTROLADAS: PROPRIEDADES FÍSICAS,
HIGROSCOPICIDADE E QUALIDADE FISIOLÓGICA**

JOSÉ SALES ALVES WANDERLEY JÚNIOR

**Dissertação apresentada ao Curso de Pós-
Graduação em Engenharia Agrícola da
Universidade Federal de Campina
Grande, como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do título de
Mestre em Engenharia Agrícola.**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Armazenamento e Processamento de Produtos
Agrícolas**

ORIENTADORES: Prof. Dr. Mário Eduardo Rangei Moreira Cavalcanti Mata

Profa. Dr^a. Maria Elita Martins Duarte

Campina Grande – Paraíba

ABRIL – 2010

Ficha Catalográfica Elaborada na Seção de Processos Técnicos da
Biblioteca Setorial do CCA, UFPB, Campus II, Areia – PB.

W245s Wanderley Júnior, José Sales Alves.

Sementes de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) armazenadas sob condições controladas: propriedades físicas, higroscopicidade e qualidade fisiológica. / José Sales Alves Wanderley Júnior. – Campina Grande: UFCG/CTRN, 2010.
199 f.

Dissertação (Mestrado) – CTRN, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

Bibliografia.

Orientador: Mário Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata.

Co-orientadora: Maria Elita Martins Duarte.

1. Amendoim 2. Sementes – amendoim 3. *Arachis hypogaea* L 4. Sementes – amendoim – armazenamento I. Mata, Mário Eduardo Rangel Moreira Cavaleanti (Orientador) II. Duarte, Maria Elita Martins (Orientadora) III. Título.

UFPB/CCA

CDU:

534.58(043.7)

DIGITALIZAÇÃO:

SISTEMOTECA - UFCG



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

JOSÉ SALES ALVES WANDERLEY JÚNIOR

QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE AMENDOIM ARMAZENADAS SOB
CONDIÇÕES CONTROLADAS

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Mario Eduardo R. M. Cavalcanti Mata
Dr. Mario Eduardo R. M. Cavalcanti Mata – Orientador

APROVADO

Maria Elita Martins Duarte
Dra. Maria Elita Martins Duarte – Orientadora

APROVADO

Renato Fonseca Aragão
Dr. Renato Fonseca Aragão - Examinador

APROVADO

Vicente de Paula Queiroga
Dr. Vicente de Paula Queiroga – Examinador

APROVADO

ABRIL - 2010

A meus amados pais, José Sales e Alana Jussara, por toda vida de amor e carinho e pelo exemplo de perseverança .

A minha esposa Fabiana Santos, por todo incentivo, carinho e amor e por ela ser minha eterna amiga, namorada, companheira e esposa. Te amo

A Tales de Brito, meu irmão verdadeiro.

Dedico este trabalho

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade de realizar esse trabalho e por ter me dado força e esperança nos momentos em que pensei em fraquejar. “Louvado Seja Nosso Senhor Jesus Cristo”.

A minha querida esposa Fabiana do Nascimento Santos, uma mulher conhecedora da palavra de Deus um exemplo de esposa, namorada, amiga, confidente, companheira em todos os momentos de minha vida e na realização desse trabalho. Te Amo verdadeiramente, e que esse amor seja preservado eternamente aos olhos de Deus.

Aos meus amados pais José Sales Alves Wanderley e Alana Jussara de Brito Wanderley, pela dedicação de amor, respeito e confiança. Pessoas que são referenciais de princípios como respeito, honestidade e perseverança. Amo vocês e que Deus lhes abençoe.

Ao meu irmão Tales de Brito Wanderley, você é meu irmão verdadeiro.

A toda minha família, avós, tios, tias, primos, primas, em especial ao meus avós Paulo e Luzanira pelo apoio incondicional da minha formação pessoal e profissional.

A dona Fátima por ter me acolhido como filho e pelo apoio e carinho nos momentos bons e nos momentos difíceis.

Aos meus orientadores Mário Eduardo R. M. Cavalcanti Mata e Maria Elita Martins Duarte pela orientação, compreensão e respeito na condução desse trabalho.

Aos membros da banca Renato Fonseca Aragão e Vicente de Paula Queiroga.

Aos meus caros colegas do mestrado, em especial, Livia, Aninha, Adelino, Clébia, Paulo de Tarso, Paulo Moraes, Débora, Niédja por todas as horas de estudo e por tantas conversas boas durante nossos encontros.

Ao meu amigo Adalberto pelo apoio incondicional na montagem e condução desse trabalho.

Aos meus tios Paulo e Salete pelo apoio na realização dos meus estudos.

A Coordenadora Josivanda pelo apoio prestado tantas vezes e aos funcionários da UFCG.

A Capes pelo apoio financeiro e UFCG pela oportunidade para realização deste trabalho.

Enfim, a todos e todas que de alguma maneira contribuíram para que esse trabalho fosse concluído. Deus dará a recompensa.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	viii
RESUMO	Xiii
ABSTRACT	xiv
Capítulo I - Características físicas das sementes de amendoim (<i>Arachis hypogaea</i> L.).....	01
RESUMO	02
ABSTRACT	03
1 - INTRODUÇÃO	04
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	06
2.1. Propriedades físicas dos produtos agrícolas	06
2.2. Massa específica real e aparente	07
2.3. Porosidade	08
2.4. Dimensões das sementes	10
2.5. Volume das sementes	12
2.6. Esfericidade e circularidade	13
2.7. Análise de imagem	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1. Massa específica real	17
3.2. Massa específica aparente	18
3.3. Porosidade	18
3.4. Dimensões e área projetada das sementes	19
3.5. Esfericidade e circularidade	20
3.6. Volume	21
3.7. Massa de sementes	21

3.8. Massa de mil sementes	21
3.9. Delineamento estatístico	22
3.10. Erro experimental.....	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1. Massa específica real	23
4.2. Massa específica aparente	28
4.3. Porosidade	34
4.4. Circularidade e Esfericidade	39
4.5. Volume	48
4.6. Área projetada	54
4.8. Massa de mil sementes	58
4.9. Massa da semente	62
4.10. Dimensões das sementes	66
4.11. Análise de imagens	67
5. CONCLUSÕES	78
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
Capítulo II - Higroscopicidade de semente de amendoim (<i>Arachis hypogaea</i> L.).....	88
RESUMO	89
ABSTRACT	90
1 - INTRODUÇÃO	91
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	93
2.1. Equilíbrio Higroscópico	93
2.2. Teor de água	95
2.3. Modelos matemáticos	96
2.3.1. Henderson modificado por Cavalcanti Mata	97
2.3.2. Modelo de Oswin	97

2.3.3. Modelo de Chung e Pfost.....	98
2.3.4. Modelo de GAB	98
3. MATERIAL E MÉTODOS	99
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	101
5. CONCLUSÕES	108
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
Capítulo III - Qualidade fisiológica de sementes de amendoim (<i>Arachis hypogaea</i> L.) armazenadas sob condições controladas	114
RESUMO	115
ABSTRACT	116
1 - INTRODUÇÃO	117
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	119
2.1. Armazenamento	119
2.2. Temperatura	120
2.3. Umidade relativa	120
2.4. Teor de água	121
2.5. Qualidade fisiológica	122
2.6. Germinação	123
2.7. Vigor	125
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	126
3.1. Origem das sementes.....	126
3.2. Teor de água.....	126
3.3. Teste de germinação.....	127
3.4. Teste de vigor.....	127
3.5. Análise estatística.....	127
4. RESULTADO E DISCUSSÃO.....	128
4.1. Teor de Água	128

4.2. Germinação de sementes de amendoim	137
4.3. Vigor das sementes de amendoim	148
4.4. Contaminação por fungos	157
5. CONCLUSÕES	162
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	163
APÊNDICES	170

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

	Pag.
Tabela 1.1	17
Tabela 1.2.	28
Tabela 1.3.	33
Tabela 1.4.	39
Tabela 1.5.	44
Tabela 1.6.	48
Tabela 1.7.	53
Tabela 1.8.	57
Tabela 1.9.	61

Tabela 1.10.	Coefficientes de determinação (R^2), erros relativos (P) e tendência de distribuição de resíduos do modelo cúbico da massa das sementes de amendoim armazenadas por 06 meses sob condições controladas de temperatura (10, 20, 30 e 40°C) e umidade relativa do ar (10, 30, 50, 70 e 90%).....	65
Tabela 1.11	Médias das dimensões maior eixo (a), eixo médio (b) e eixo menor (c) e erro (%) de sementes de amendoim sob condições controladas durante 180 dias de armazenamento.....	73
Tabela 1.12	Médias das áreas das sementes de amendoim determinadas pelo método da projeção no papel milimetrado e pelo Matlab 7.8 R2009a, e erro (%) entre os dois métodos.....	76

CAPÍTULO II

Tabela 2.1.	Valores experimentais da umidade de equilíbrio (X_e) de sementes de amendoim sob condições controladas de umidades relativas e temperaturas, aos 90 dias de armazenamento.....	102
Tabela 2.2.	Parâmetros dos modelos de isotermas de equilíbrio higroscópico para sementes de amendoim, acondicionada sob condições controladas de temperatura (° C) e umidade relativa (%), e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), erros relativos (P) e tendência de distribuição de resíduos.....	105

CAPÍTULO III

Tabela 3.1.	Coefficientes de determinação (R^2), erros relativos (P) e tendência de distribuição de resíduos do modelo cúbico do Teor de água de sementes de amendoim armazenadas por 06 meses sob condições controladas de temperatura (10, 20, 30 e 40°C) e umidade relativa do ar (10, 30, 50, 70 e 90%).....	134
Tabela 3.2.	Valores médios do teor de água (%) para a interação Temperatura x Umidade Relativa de sementes de amendoim da cv. BR1 sob condições controladas armazenadas por 180 dias	135
Tabela 3.3.	Valores médios do teor de água (%) para a interação Temperatura x Tempo de sementes de amendoim da cv. BR1 sob condições controladas armazenadas por 180 dias.....	136
Tabela 3.4.	Valores médios do teor de água (%) para a interação Umidade relativa x Tempo de sementes de amendoim da cv. BR1 sob condições controladas armazenadas por 180 dias.....	137
Tabela 3.5.	Coefficientes de determinação (R^2), erros relativos (P) e tendência de distribuição de resíduos do modelo cúbico da Germinação de sementes de amendoim armazenadas por 06 meses sob condições controladas de temperatura (10, 20, 30 e 40°C) e umidade relativa do ar (10, 30, 50, 70 e 90%).....	145
Tabela 3.6.	Valores médios da germinação (%) para a interação Temperatura x	

	Umidade Relativa de sementes de amendoim da cv. BR1 sob condições controladas armazenadas por 180 dias.....	146
Tabela 3.7.	Valores médios da germinação (%) para a interação Temperatura x Tempo de sementes de amendoim da cv. BR1 sob condições controladas armazenadas por 180 dias.....	147
Tabela 3.8	Valores médios da germinação (%) para a interação Umidade Relativa x Tempo de sementes de amendoim da cv. BR1 sob condições controladas armazenadas por 180 dias.....	148
Tabela 3.9	Coefficientes de determinação (R^2), erros relativos (P) e tendência de distribuição de resíduos do modelo cúbico do Vigor de sementes de amendoim armazenadas por 06 meses sob condições controladas de temperatura (10, 20, 30 e 40°C) e umidade relativa do ar (10, 30, 50, 70 e 90%).....	154
Tabela 3.10.	Valores médios do vigor (%) para a interação Temperatura x Umidade Relativa de sementes de amendoim da cv. BR1 sob condições controladas armazenadas por 180 dias.....	155
Tabela 3.11.	Valores médios do vigor (%) para a interação Temperatura x Tempo de sementes de amendoim da cv. BR1 sob condições controladas armazenadas por 180 dias.....	155
Tabela 3.12.	Valores médios do vigor (%) para a interação Umidade Relativa x Tempo de sementes de amendoim da cv. BR1 sob condições controladas armazenadas por 180 dias.....	156

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1.1	Representação dos eixos (a - maior eixo do grão, mm; b - eixo médio do grão, mm; c - menor eixo do grão, mm) de um esferóide oblato	11
Figura 1.2	Representação dos eixos (a - maior eixo, mm; b - eixo médio, mm; c - menor eixo, mm) da semente de amendoim.....	19
Figura 1.3	Massa específica real das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 10°C	25
Figura 1.4.	Massa específica real das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 20°C	26
Figura 1.5.	Massa específica real das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 30°C	26
Figura 1.6.	Massa específica real das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 40°C	27
Figura 1.7.	Massa específica aparente das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 10°C	29
Figura 1.8.	Massa específica aparente das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 20°C	30
Figura 1.9.	Massa específica aparente das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 30°C	32
Figura 1.10.	Massa específica aparente das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 40°C	33
Figura 1.11.	Porosidade das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 10°C.....	37
Figura 1.12.	Porosidade das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 20°C	37
Figura 1.13.	Porosidade das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 30°C	38
Figura 1.14.	Porosidade das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura	

	controlada de 40°C.....	39
Figura 1.15.	Circularidade das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 10°C.....	42
Figura 1.16.	Circularidade das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 20°C.....	42
Figura 1.17.	Circularidade das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 30°C.....	43
Figura 1.18.	Circularidade das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 40°C	43
Figura 1.19.	Esfericidade das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 10°C	46
Figura 1.20.	Esfericidade das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 20°C.....	46
Figura 1.21	Esfericidade das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 30°C.....	47
Figura 1.22.	Esfericidade das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 40°C.....	47
Figura 1.23.	Volume das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 10°C	51
Figura 1.24.	Volume das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 20°C	52
Figura 1.25.	Volume das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 30°C	52
Figura 1.26.	Volume das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 40°C	53
Figura 1.27.	Área projetada das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 10°C	55
Figura 1.28.	Área projetada das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 20°C	56

Figura 1.29.	Área projetada das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 30°C.....	56
Figura 1.30.	Área projetada das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 40°C	57
Figura 1.31.	Massa de mil sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 10°C	59
Figura 1.32.	Massa de mil sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 20°C.....	60
Figura 1.33.	Massa de mil sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 30°C.....	60
Figura 1.34.	Massa de mil sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 40°C	61
Figura 1.35.	Massa da semente de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 10°C	63
Figura 1.36.	Massa de mil sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 20°C	64
Figura 1.37.	Massa de mil sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 30°C	64
Figura 1.38.	Massa de mil sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para uma temperatura controlada de 40°C.....	65
Figura 1.39	Análise das dimensões pelo método da projeção e análise de imagens	68
Figura 1.40.	Rotina computacional nomeada de Amendoim.m, referente a mensuração do centróide, maior eixo, menor eixo e área de sementes de amendoim, analisadas através do processamento de imagens por meio do software Matlab 7.8 R2009a.....	70
Figura 1.41.	Captura de imagens digitais das sementes de amendoim: sementes de amendoim na posição de repouso, sem contraste de luz (A); sementes de amendoim com contraste de luz (B); sementes de amendoim com giro de 90° (C)	71
Figura 1.42.	Tratamento de imagens digitais de sementes de amendoim: imagem recortada (A); imagem após o 1º tratamento (B); imagem após 2º tratamento (C) pelo software Matlab 7.8 R2009a.....	72

CAPÍTULO II

Figura 2.1.	Recipiente hermético utilizado para determinação do teor de água de equilíbrio das sementes de amendoim pelo método estático.....	99
Figura 2.2.	Isotermas de equilíbrio higroscópico ajustadas pelo modelo de Henderson modificado por Cavalcanti Mata para sementes de amendoim acondicionadas sob condições controladas de temperatura e umidade relativa utilizando-se análise de regressão não linear pelo método Quasi-Newton.....	106
Figura 2.3.	Isotermas de equilíbrio higroscópico ajustadas pelo modelo Oswin para sementes de amendoim acondicionadas sob condições controladas de temperatura e umidade relativa utilizando-se análise de regressão não linear pelo método Quasi-Newton.....	106
Figura 2.4.	Isotermas de equilíbrio higroscópico ajustadas pelo modelo Chung e Pfof para sementes de amendoim acondicionadas sob condições controladas de temperatura e umidade relativa utilizando-se análise de regressão não linear pelo método Quasi-Newton	107
Figura 2.5.	Isotermas de equilíbrio higroscópico ajustadas pelo modelo GAB para sementes de amendoim acondicionadas sob condições controladas de temperatura e umidade relativa utilizando-se análise de regressão não linear pelo método Quasi-Newton	107

CAPÍTULO III

Figura 3.1.	Superfície de resposta do Teor de água (%. b.s) das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento (180dias) para a temperatura de 10°C.....	129
Figura 3.2.	Superfície de resposta do Teor de água (%. b.s) das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento (180dias) para a temperatura de 20°C.....	131
Figura 3.3.	Superfície de resposta do Teor de água (%. b.s) das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento (180dias) para a temperatura de 30°C.....	132
Figura 3.4.	Superfície de resposta do Teor de água (%. b.s) das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento (180dias) para a temperatura de 40°C.....	133
Figura 3.5.	Superfície de resposta da Germinação (%) das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento (180dias) para a temperatura de 10°C.....	139
Figura 3.6.	Superfície de resposta da Germinação (%) das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento (180dias) para a temperatura de 20°C.....	140
Figura 3.7.	Superfície de resposta da Germinação (%) das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de	

	armazenamento (180dias) para a temperatura de 30°C.....	142
Figura 3.8.	Superfície de resposta da Germinação (%) das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento (180dias) para a temperatura de 40°C.....	144
Figura 3.9	Superfície de resposta do Vigor (%) das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento (180dias) para a temperatura de 10°C.....	150
Figura 3.10	Superfície de resposta do Vigor (%) das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento (180dias) para a temperatura de 20°C.....	151
Figura 3.11.	Superfície de resposta do Vigor (%) das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento (180dias) para a temperatura de 30°C.....	152
Figura 3.12.	Superfície de resposta do Vigor (%) das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento (180dias) para a temperatura de 40°C.....	153
Figura 3.13.	Amostra de amendoim sadia, presença de <i>Aspergillus flavus</i> e amostra não germinada, da esquerda para direita.	158
Figura 3.14.	Sementes de amendoim atacadas por várias espécies de fungos simultaneamente.....	159
Figura 3.15.	Sementes de amendoim armazenadas a temperatura de 40°C e umidade relativa de 82.32%.....	160
Figura 3.16.	Sementes de amendoim não germinadas e amostras de sementes atacadas por fungos, da esquerda para direita.....	161

WANDERLEY JÚNIOR, José Sales Alves. **Propriedades físicas, higroscópicas e qualidade fisiológica de sementes de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) armazenadas sob condições controladas.** Campina Grande. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, 2010. 193 f. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola – Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas)

RESUMO

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.) é uma cultura de expressão econômica no mundo e a quarta oleaginosa mais cultivada, devido aos valores nutricionais, utilizados para fins industriais e fabricação de diversos produtos. O consumo das sementes de amendoim pode ser na forma in natura, cozida, frita e tostada, sendo importante também na fabricação de produtos industrializados como balas, doces e pastas. O objetivo desta pesquisa consistiu em determinar as características e propriedades físicas, higroscopicidade e qualidade fisiológica das sementes de amendoim armazenadas sob condições controladas. Este trabalho foi conduzido no Laboratório de Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas da UFCG. As amostras de amendoim foram submetidas a condições de armazenamento, com temperaturas e umidades relativas controladas. Para isso foram utilizadas 04 câmaras incubadoras B.O.D. nas temperaturas (10, 20,30 e 40°C), cada uma contendo 05 umidades relativas (10, 30, 50, 70 e 90%) e 06 repetições. Os teores de água de equilíbrio das sementes de amendoim foram determinados por meio do método estático e uso de modelos matemáticos. Foram realizados testes de determinação de teor de água, germinação e vigor de acordo com a metodologia descrita por BRASIL (2009). Com base nos resultados, estabeleceram-se as seguintes conclusões: A variação das propriedades físicas e das características físicas das sementes de amendoim, em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento, apresentam a mesma tendência verificada na maioria dos produtos agrícolas; os modelos de GAB e Henderson modificado por Cavalcanti Mata são eficientes para descrever a higroscopicidade das sementes de amendoim em função da temperatura e da umidade relativa; O elevado teor de água favorece o processo de deterioração das sementes de amendoim, através da perda da germinação, do vigor e o surgimento de fungos no armazenamento; as sementes de amendoim perdem seu poder germinativo no decorrer do tempo em ambientes de altas umidades relativas e altas temperaturas; o vigor das sementes de amendoim tende a 0% (zero) no decorrer do tempo em ambientes de altas umidades relativas e altas temperaturas.

Palavras-chave: propriedades físicas, higroscopicidade, qualidade fisiológica

WANDERLEY JÚNIOR, José Sales Alves. **Physical properties, physiological and hygroscopy quality of peanut seeds (*Arachis hypogea* L.) stored upon controlled condition.** Campina Grande. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, 2010. 193 sh. (Master Degree Essay in Agricultural Engineering – Storage and Processing of Agricultural Products).

ABSTRACT

Peanut (*Arachis hypogea* L.) is a very cultural economic cocpression in the word and the fourth oilseed, due to nutritional values, used to industrial purposes and several products made. Consumption of seeds can be in natura, cooked, toasted way, being important also on industrialized products like candies, pastes. The aim of this research was determine physical properties and features, hygroscopicity and physiological quality of peanut seeds stored upon controlled condition. This Word was conducted at processing and storage Laboratory of Agricultural Products of UFCG. Samples were submitted to storage conditions, with temperatures and humidity controlled. To that, it had been used 4 inner chambers (B.O.D.) at 10, 20, 30 and 40°C, cachone with os relative humidity (10, 30, 50, 70 and 90%) and 6 repetition. Water equilibrium were determined by water means, maths and static methods. It had been done germination and vigour according to related methodology by BRASIL (2009). Based on results, it had been established the following conclusions: Physical and features of peanut seeds, functioning to humidity and storage time, show the same verified tendency in almost agricultural products; GAB and Henderson models modified by Cavaleanti Mata are efficient to describe hygroscopicity of peanut seeds functioning to temperature and humidity; high water means helps damaging process through germination lost, vigour and fungi appearance on storage; peanut seeds lost their germinative Power; in high humidity and high temperature; vigour of seeds falls to 0% on time in high hunidity and temperature enviromment.

Keywords: hygroscopicity, physical properties, physiological quality.

CAPÍTULO I

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS SEMENTES DE AMENDOIM

(Arachis hypogaea L.)

WANDERLEY JÚNIOR, José Sales Alves. **Características físicas das sementes de amendoim (*Arachis hypogaea* L.)**. Campina Grande. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, 2010. 106 f. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola – Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas)

RESUMO

Os materiais biológicos têm algumas características físicas que são empregadas no desenvolvimento de projetos de máquinas e equipamentos. A maioria das propriedades físicas estão intimamente ligadas ao teor de água da semente, que por sua vez depende das condições ambientais e de sua composição química. O objetivo desta pesquisa consiste em determinar as propriedades e as características físicas das sementes de amendoim armazenadas durante 06 meses sob condições controladas de temperatura (10, 20, 30 e 40°C) e umidade relativa do ar (10, 30, 50, 70 e 90%). O experimento foi conduzido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas da UFCG. A massa específica real foi determinada usando-se a relação entre a massa da semente e seu volume, através do método de deslocamento de água. A massa específica aparente foi determinada pesando-se a massa existente em um recipiente de volume conhecido. O valor da porosidade foi calculado por meio da relação entre a massa específica real e massa específica aparente. Os eixos ortogonais e a área projetada das sementes foram determinadas por projeção em papel milimetrado e análise de imagens. A esfericidade e a circularidade foram determinadas a partir dos eixos ortogonais e da área projetada das sementes na posição de repouso. O volume das sementes foram determinados com os valores dos eixos ortogonais. A massa da semente e a massa de mil sementes foram obtidas através de balança analítica. A variação das propriedades físicas e das características físicas das sementes de amendoim, em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento, apresentam a mesma tendência verificada na maioria dos produtos agrícolas. A massa específicas real, a massa específica aparente, a porosidade, a circularidade e esfericidade, o volume, a área projetada, a massa da semente e a massa de mil sementes possuem uma relação direta com a umidade relativa do ar em função do tempo. A análise de imagens foi eficiente na determinação das características físicas das sementes de amendoim

Palavras-chave: Propriedades, umidade relativa, análise de imagens

WANDERLEY JÚNIOR, José Sales Alves. **Physical properties of peanut seeds (*Arachis hypogea* L.)**. Campina Grande. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, 2010. 106 sh. (Master Degree Essay in Agricultural Engineering – Storage and Processing of Agricultural Products).

ABSTRACT

Biological materials have some physical features which are used on machine and equipment project development. Many physical properties are linked to water seed mean, so it depends on environmental conditions and its chemical composition. The aim of this research consists on determine properties and physical features of peanuts seeds kept during 6 months upon controlled conditions of temperature (10,20,30 and 40°C) and air humidity (10,30,50,70 and 90%). The experiment was carried out at the Laboratory of Storage and Agricultural Product Processing of UFCG. Crude specific mass was determined using relation between seed mass and its volume, through water method curve. Aparent specific mass was determined by weight in a recipient. Value was calculated by relation between crude specific mass and aparent one. Orto edges and projected area of seeds were determined by: millimeter paper and image analisis. Sphere and circle way werw determined by orto-edge and projected area of seeds on zero position. Seeds volume werw determined with orto edge values. Sees mass and the mass of 1.000 seeds werw given from analitical balance. Physical properties variation and physical features of peanuts seeds, function on air humidity an storage time, show the same tendency observed in other agricultural products. Crude specific mass, aparent specific mass, porosity, circle and sphere way, volume, projected area, seed mass and mass of one thousand seeds have a direct relation to air humidity and time. Image analisis was efficient on determination of physical features of peanut seeds.

Keywords: Properties, air humidity, image analysis.

1. INTRODUÇÃO

O amendoim (*Arachis hypogaea* L.) é uma cultura de expressão econômica no mundo e a quarta oleaginosa mais cultivada, devido aos valores nutricionais, utilizados para fins industriais e fabricação de diversos produtos. O consumo das sementes de amendoim pode ser na forma in natura, cozida, frita e tostada, sendo importante também na fabricação de produtos industrializados como balas, doces e pastas.

Devido ao seu elevado conteúdo e qualidade do óleo (média de 80% de ácidos graxos insaturados e de 20% de saturados) nas sementes, uma grande parte da produção de amendoim no Brasil é utilizada como matéria-prima na fabricação de óleo (FREITAS et al., 2005). Ademais, é considerada a mais importante leguminosa, junto com o feijão e a soja, não só como alimento protéico e energético de reconhecida qualidade mas, também, como um dos principais produtores de óleo com amplas possibilidades de aproveitamento na indústria, inclusive como substituto para óleo diesel (SILVA et al., 2004).

Os materiais biológicos têm algumas características físicas que são empregadas no desenvolvimento de projetos de máquinas e equipamentos, contudo toma-se necessário levar em conta que um material biológico não tem uniformidade dos produtos confeccionados e moldados pela indústria química, mecânica ou elétrica (CAVALCANTI MATA & DUARTE, 2002). Uma das características das sementes de amendoim é a falta de uniformidade no seu formato e dimensões, o que pode gerar dificuldades nos processos de padronização no beneficiamento e armazenamento.

O estudo das propriedades físicas dos produtos agrícolas está intimamente ligado a todos os processos que serão utilizados na cultura desde o sistema de produção adotado, passando pelo manejo, colheita, beneficiamento, armazenamento e industrialização. A maioria das propriedades físicas estão intimamente ligadas ao teor de água da semente, que por sua vez depende das condições ambientais e de sua composição química, o que significa peculiaridades que limitam a utilização de suas características físicas sob diferentes condições para as quais foram determinadas.

Para se estabelecer um cenário global de agricultura cada vez mais competitiva e lucrativa, torna-se necessária a busca por novas tecnologias que possam aperfeiçoar todas as fases do processo produtivo. Nesse sentido, verifica-se que o conhecimento das propriedades físicas de produtos agrícolas é de fundamental importância para uma correta conservação e

para o dimensionamento e operações de equipamentos para as principais operações de colheita e pós-colheita de produtos agrícolas (GONELI et al., 2008).

Considerando a importância do assunto e variabilidade existente nas propriedades físicas dos produtos agrícolas o objetivo desta pesquisa consistiu em determinar as propriedades físicas (massa específica real e massa específica aparente) e as características físicas (porosidade, circularidade, esfericidade, volume, área projetada, massa da semente e massa de mil sementes) das sementes de amendoim armazenadas durante 06 meses sob condições controladas de temperatura (10, 20, 30 e 40°C) e umidade relativa do ar (10, 30, 50, 70 e 90%).

2. REVISÃO BILIOGRÁFICA

2.1. Propriedades físicas dos produtos agrícolas

O conhecimento das propriedades físicas dos materiais biológicos é de fundamental importância em projetos de engenharia envolvendo dimensionamento de máquinas e equipamentos para semeadura, colheita, manuseio, armazenamento, secagem e aeração, bem como para adaptação de equipamentos já existentes visando um maior rendimento, racionalizando energia, controle de poluição e redução dos custos de produção. 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 teor de água (BENEDETTI, 1987; SILVA, 1995).

As propriedades físicas dos produtos agrícolas influenciam os mais diferentes setores produtivos, na indústria e em parte do mercado consumidor. Geralmente, tais informações, são limitadas no que diz respeito ao dimensionamento dos projetos de unidades armazenadoras e máquinas agrícolas. Essa limitação tem sido, cada vez mais, foco de pesquisas em busca de acúmulo de informações que subsidiem avanços nesse setor (RIBEIRO et al, 2002).

O conhecimento das propriedades físicas dos grãos é essencial ao projeto, à construção e operação dos equipamentos de limpeza, secagem e armazenagem dos produtos agrícolas (SILVA e LUCENA, 1995; AFONSO JÚNIOR et al., 2000; SRIVASTAVA et al., 1993). Contudo torna-se necessário levar em conta que um material biológico não tem a uniformidade dos produtos confeccionados e moldados pela indústria química, mecânica e ou elétrica (CAVALCANTI MATA & DUARTE, 2002). Dentre as características físicas mais relevantes ao projeto de máquinas de limpeza, destacam-se: forma e tamanho dos grãos, velocidade terminal e massa específica aparente (SRIVASTAVA et al., 1993).

As propriedades físicas dos produtos agrícolas estão ligadas aos conceitos físicos e que afetam a transferência de calor e massa, as quais necessitam de análises precisas como pesagens, medições, identificação da composição química para serem determinadas. As propriedades físicas estão relacionadas intimamente com o teor de água do produto e a sua composição química. Ou seja, são informações particulares dos produtos agrícolas as quais necessitam de análises mais apuradas para serem determinadas, a exemplo da massa específica real e da massa específica aparente.

As características físicas dos produtos agrícolas são informações inerentes a sua aparência, as quais podem ser percebidas ou medidas, em um primeiro momento, por meio de análise visual levando-se em consideração sua forma, cor, tamanho, massa, entre outras. As características físicas possuem uma relação direta com o modelo do material, a exemplo da porosidade, circularidade, esfericidade, área, volume, massa, entre outras.

De acordo com CORRÊA et al. (2003) para viabilizar a conservação do produto por longo tempo, algumas práticas se tornam necessárias; portanto, é de fundamental importância o conhecimento de propriedades físicas do produto, tais como massa específica aparente e porosidade, e a relação existente entre essas propriedades e os fatores responsáveis pela perda de qualidade do produto, para o desenvolvimento e operação de equipamentos para as principais operações pós-colheita.

2.2. Massa específica real e aparente

A massa específica, peso específico ou densidade granular pode ser definida como a razão entre a massa e o volume ocupado por determinado produto. Este conceito aplicado à massa e volume de apenas um grão determina a massa específica real, ou seja, não leva em consideração os espaços intergranulares, Equação I.1. Já a aplicação do conceito para uma determinada massa ou quantidade de produto estabelece a definição da propriedade massa específica aparente ou granular, a qual leva em consideração os espaços intergranulares ou seja a porosidade do produto (PABIS et al., 1998).

$$\rho_{\text{real}} = \frac{m}{V_{\text{real}}} \quad (\text{I.1})$$

onde:

ρ_{real} - massa específica real, g/cm³;

m - massa de uma unidade do produto, g/cm³;

V_{real} - volume, cm³.

A massa específica aparente pode ser definida como a razão entre a massa e o volume de determinada quantidade de produto, incluindo os espaços intergranulares, ou seja, levando

em consideração a porosidade, Equação 1. 2. A aplicação do conhecimento de massa específica aparente se dá na comercialização, dimensionamento de silos, de secadores, depósitos e sistemas de transportes, podendo ser utilizada para determinar teores de água e danos causados por insetos e pragas nos grãos armazenados (SILVA & CORREA, 2000).

$$\rho_{\text{aparente}} = \frac{m}{V_a} \quad (1.2)$$

onde:

ρ_a - massa específica aparente, g/cm³;

m - massa das sementes que ocupam um recipiente, g;

V_a - volume do recipiente que contém a amostra de sementes, cm³.

Na prática do armazenamento a aplicação da massa específica real só é conhecido quando do esmagamento dos grãos, afim de que o produto ocupe o espaço intergranular (PUZZI, 2000).

SASSERON (1980) observou em pesquisa que dentre as diversas propriedades físicas de produtos agrícolas, a massa específica aparente sofre notada influência do percentual e do tamanho de impurezas presentes na massa de grãos.

A massa específica aparente de grãos agrícolas cresce, geralmente, com a diminuição do teor de água do produto. O crescimento depende da percentagem de grãos danificados, do teor de água inicial, da temperatura alcançada durante a secagem, do teor de água final e da variedade do grão (BROOKER et al., 1992).

BENEDETTI (1987), verificou que ocorre diminuição na massa específica de grãos de soja e amendoim quando se aumenta o teor de água dos mesmos.

2.3. Porosidade

A porosidade intergranular de um produto agrícola, Equação 1. 3, é entendida como os espaços aleatórios formados pelo agrupamento desse produto em um volume pré-determinado, constituindo-se em uma característica física do material (CAVALCANTI MATA & DUARTE, 2002).

O conhecimento da porosidade intergranular de um produto, entendido como uma das suas características físicas é de suma importância, pois ela está inserida no dimensionamento

de várias estruturas como silos, containeres, caixas, embalagens, unidades transportadoras, além de estar contida dentro dos estudos da transferência de calor e de transferência de massa, nos processos hidrodinâmicos, aerodinâmicos e termoeletrônicos, dentre outros não citados (SILVA & CORRÊA, 2000; CAVALCANTI MATA & DUARTE, 2002).

$$\varepsilon (\%) = \frac{P1 - P2}{P2} \times 100 \quad (I. 3)$$

onde:

ε – porosidade, %;

P1 – pressão inicial, mmHg;

P2 – pressão final, mmHg.

No espaço formado entre os grãos, denominado como espaço intergranular, durante o período de armazenagem é estabelecido um ambiente, que tem suas condições de estado afetadas principalmente pelo teor de água da massa de grãos, o que pode favorecer ou não o desenvolvimento de microrganismo dependendo da atividade de água (SILVA, 1995).

SILVA et al. (2006) relatam três propriedades físicas de grande importância que são porosidade, massa específica real e aparente que, em geral, são funções do teor de água do produto e de presença de impurezas da amostra.

A fração de espaços vazios em uma massa de grãos, ou porosidade, pode ser determinada pelo método direto ou indireto. Segundo MOHSEIN (1986) pelo método direto a porosidade é obtida acrescentando-se um volume de líquido conhecido e necessário para complementação dos espaços vazios da massa granular. No método indireto a massa pode ser determinada pelo uso de picnômetros, ou então, baseados em relações matemáticas que envolvem as massas específicas real e aparente, Equação 1. 4 (RUFFATO et al., 1999; COUTO et al., 1999).

$$\varepsilon = \left[1 - \left(\frac{\rho_{\text{aparente}}}{\rho_{\text{real}}} \right) \right] \quad (I. 4)$$

onde:

ε – porosidade, %;

ρ_{aparente} – massa específica aparente, g/cm³;

ρ_{real} – massa específica real, g/cm^3 .

Em estudos realizados por RIBEIRO et al. (2002) foi verificado que a porosidade de um produto agrícola pode ser influenciada devido aos diferentes tipos de empacotamento, onde os mais densos (massas específicas aparentes maiores), em virtude de uma utilização de uma pressão maior, causam uma quebra das partículas ou parte destas, danificando a qualidade do lote trabalhado.

De modo geral, observa-se que essas propriedades físicas para a maioria dos produtos agrícolas, diminuem com o aumento do teor de água, enquanto a porosidade da massa granular aumenta (BENEDETTI, 1987; JAYAS et al., 1989; AFONSO JÚNIOR et al., 2000).

2.4. Dimensões das sementes

A forma e o tamanho são inseparáveis de um determinado objeto quando se deseja que este seja satisfatoriamente descrito. Grãos, sementes, frutos e hortaliças são irregulares na forma e no tamanho e à medida que aumenta a irregularidade deles, maior é o número de medidas a serem tomadas. Uma comparação entre um objeto real e cartas padrões é feita para definir a forma, mas essa técnica simples resulta em uma avaliação subjetiva, pois diferentes observadores encontram resultados distintos. As informações concernentes ao tamanho e forma, dentre outras características físicas, são consideradas de grande importância para os estudos envolvendo transferência de calor e massa e movimentação de ar em massas granulares (MOHSENIN, 1986).

A forma e tamanho de grãos são características específicas de cada produto. O tamanho é determinado pelas medições dos eixos perpendiculares do grão (comprimento, largura e espessura), Figura 1.1. A forma é determinada pela comparação de um formato padrão pré-determinado, por exemplo, o grão é comparado visualmente com formas esféricas, cilíndricas, oval, cônicas, entre outras (SILVA, 2000).

Os grãos e frutos, de modo geral, não apresentam um formato geométrico perfeitamente definido, tornando-se necessário para solução de problemas relacionados à sua geometria, assumir para o produto uma forma conhecida, o que acarreta em aproximações e possíveis erros. AGRAWAL et al. (1972) observaram que para a maioria dos produtos

agrícolas, muitas dessas soluções são obtidas assumindo-se, as formas geométricas de um esferóide ou elipsóide composto por três dimensões características, que são os eixos maior, médio e menor.

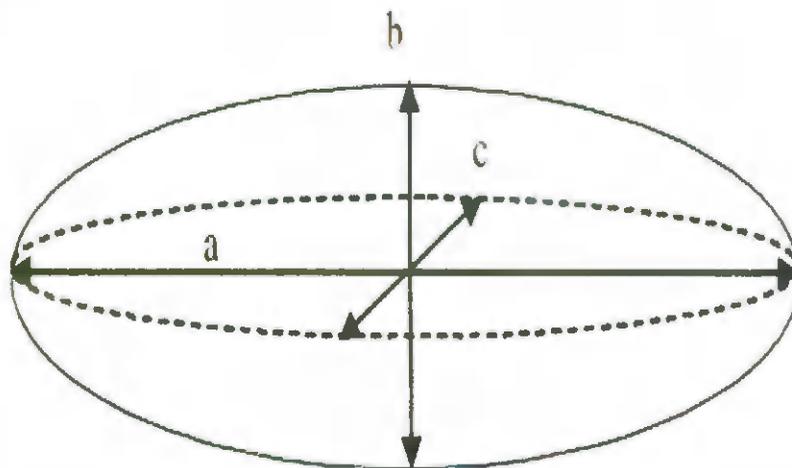


Figura 1.1 Representação dos eixos (a - maior eixo do grão, mm; b - eixo médio do grão, mm; c - menor eixo do grão, mm) de um esferóide oblato.

CAVALCANTI MATA & DUARTE (2002) relatam que tanto a forma, quanto o tamanho dos produtos agrícolas influem na formação dos espaços intergranulares onde um produto mais arredondado como grãos de soja formam maiores espaços intergranulares que grãos de feijão que têm a forma de um elipsóide e este, por sua vez, têm maior porosidade que grãos de forma elipsoidal mais alongada, como são o caso do trigo ou do arroz.

Após estudos realizados CARVALHO & NAKAGAWA (2000) relatam que em um lote de sementes recém colhido, o tamanho das partículas é uma das características que se encontram em maior grau de variabilidade, esta sendo bastante empregada em processos de beneficiamento.

A explicação mais comumente apresentada para a possível influência do tamanho das sementes sobre o vigor das plântulas e posterior comportamento de plantas tem sido de que as sementes grandes possuem maior tecido de reserva, podendo, portanto originar plântulas “mais nutridas” (CARVALHO & NAKAGAWA, 2000).

Se por qualquer motivo, a semente de menor tamanho tiver conteúdo protéico maior do que o da semente grande, seu comportamento será melhor (CARVALHO & NAKAGAWA, 2000). É importante salientar que em algumas circunstâncias, sementes de

maior tamanho podem apresentar pior desempenho porque as condições ambientais de produção não foram favoráveis ou por terem sofrido mais danos mecânicos.

Quanto mais irregular a forma da semente, menor será sua suscetibilidade à injúria mecânica, porque formatos irregulares determinam diferentes probabilidades de impactos sobre os diversos pontos da semente. No caso do amendoim a probabilidade da semente sofrer o impacto no eixo embrionário é muito menor do que em outro ponto qualquer (CARVALHO & NAKAGAWA, 2000).

2.5. Volume das sementes

As mudanças volumétricas dos produtos, devido a sua desidratação, são relatadas como sendo as principais causas das alterações nas propriedades físicas mais importantes dos produtos agrícolas (RATTI, 1994; SOKHANSANJ & LANG, 1996).

As bases teóricas para o conhecimento do processo de contração volumétrica envolvem complexas leis mecânicas e de deformação de materiais (TOWNER, 1987). No entanto, muitos pesquisadores têm utilizado aproximações e modelos empíricos na tentativa de representar esse complicado fenômeno em produtos de natureza biológica (LANG et al., 1994; KROKIDA & MAROULIS, 1997; AFONSO JÚNIOR et al., 2000; MAYOR & SERENO, 2004).

A redução de produtos vegetais durante determinados processos, a exemplo da secagem, não é função exclusiva do teor de água, mas também, das condições do processo e da geometria do produto, uma vez que materiais biológicos porosos quando desidratados contraem-se diferentemente nas direções longitudinal, tangencial e radial (FORTES & OKOS, 1980; CAVALCANTI MATA et al., 1986).

Os modelos empregados para representar a secagem dos produtos agrícolas, na sua grande maioria, foram desenvolvidos, negligenciando-se a contração volumétrica do produto durante o processo de desidratação (BROOKER et al., 1992).

De acordo com NEVES et al. (2009) o volume da semente aumenta com o acréscimo do teor de água das sementes. Isto ocorre em consequência dos constituintes celulares absorverem mais água à medida que o teor de água se eleva. Isso faz com que ocorra expansão da semente aumentando assim, seu volume.

DUTTA et al. (1988) empregaram valores médios dos três eixos principais e o diâmetro efetivo no cálculo do volume efetivo de sementes de grama, obtendo resultados que predizem aproximadamente os valores determinados.

2.6. Esfericidade e circularidade

A partir das medições dos eixos perpendiculares, é possível determinar a esfericidade do grão, que segundo CORRÊA et. al. (2002) é o grau de aproximação da forma do produto com a esfera, e também a circularidade, que indica quanto se aproxima a área da projeção do material na posição de repouso de um círculo, Equações 1. 5 e 1. 6.

Dentre as características físicas forma e tamanho, os principais parâmetros a serem definidos são a circularidade e esfericidade (LUCENA & SILVA, 1995).

$$C_r = \frac{A_p}{A_c} \times 100 \quad (1.5)$$

onde:

C_r – Circularidade, %;

A_p – Área projetada da semente na posição de repouso, mm^2 ;

A_c – Área do menor círculo que circunscribe a projeção da semente na posição de repouso, mm^2 .

$$E_s = \frac{d_i}{d_c} \times 100 \quad (1.6)$$

onde:

E_s – Esfericidade, %;

d_i – diâmetro do maior círculo inscrito na projeção da semente, na posição de repouso, mm;

d_c – diâmetro da menor circunferência que circunscribe a projeção da semente na posição de repouso (mm).

2.7 Análise de Imagem

A análise de imagens é, segundo GIRARDIN et al. (1993) e CARVALHO et al. (1999), o melhor método não destrutivo para avaliar as características morfológicas internas da semente.

A utilização da análise de imagens para a determinação de danos mecânicos em sementes destaca-se como uma eficiente ferramenta, pois trata-se de um método de grande precisão (as sementes podem ser examinadas individualmente em imagens ampliadas que poderão indicar, em detalhes, a área danificada, sua extensão e localização) e não destrutivo (CÍCERO et al., 1998)

Uma imagem digital pode ser comparada a uma matriz, onde as unidades discretas formadoras de imagens se dispõem em linhas e colunas, sendo que índices identificam um ponto na imagem e o seu correspondente atributo. As unidades discretas, formadoras da imagem são ditas elementos da imagem, do inglês “Pictures Elements”, que foi abreviado para “Pics Els” e então fundido gerando o termo “Pixels” (TEIXEIRA, 2004).

Uma análise promissora dependerá fundamentalmente de uma digitalização adequada da cena. Tratando-se da luminosidade ambiente, um fenômeno comum é a formação de sombras, que formam imagens com formas e dimensões alteradas; outro problema, é o excesso de luz, que pode incorrer em alterações rejeitáveis (IHRIG & IHRIG, 1997).

Uma imagem digital de baixa resolução mapeada em tela de alta resolução tem uma limitação prática, que consiste na perda da qualidade visual da cena quando pormenorizada através de zoom de aproximação (DAY, 1997). Dentre as utilizações das análises de imagens MCDONAL & CHEN (1990) relatam que além da utilização em agrometeorologia a análise de imagens vem sendo adaptada para a análise de formas e dimensões de objetos contidos em uma cena.

Assim, métodos de análise para a caracterização dos parâmetros dimensionais como largura e comprimento, mostram-se mais completos e abrangentes no controle da expressão do tamanho. Além disso, podem ser envolvidos no melhoramento de espécies economicamente importantes, bem como em testes para a manutenção da regulagem de maquinário e aferições, atestando-se um acréscimo à pesquisa visando o controle de qualidade da produção de sementes (TEIXEIRA et al., 2007).

O processamento de uma imagem digital envolve várias operações que podem ser aplicadas aos dados de uma imagem. Netas operações estão incluídas técnicas de compressão

de imagens, restauração de imagens, melhoramento de imagens, quantificação, filtragem espacial, acabamento e reconhecimento (TEIXEIRA et al., 2003).

Devido à grande quantidade de sementes a serem estudadas, as análises são feitas durante horas, o que torna o processo cansativo. Por isso, a observação automática das sementes é muito importante durante a sua germinação ou durante a sua conservação (CAVALCANTI & CAVALCANTI, 2005).

Deve-se buscar, então, um programa onde possam estar reunidas rotinas de processamentos e análises de imagens, com reconhecimento e interpretação de dados dimensionais em dados numéricos (TEIXEIRA, 2004).

CRUVINEL et al. (1996) afirmam que para realização de um trabalho criterioso de análise de imagens, é necessário o processamento da imagem constituído de uma fase de pré-processamento seguido pela análise propriamente dita.

VIEIRA JÚNIOR (1998) utilizou a técnica de análise de imagens digitais definindo parâmetros e procedimentos necessários, para a determinação do comprimento e da largura de sementes de milho concluindo que essa técnica é eficiente para determinação das características físicas do produto.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido no Laboratório de Análises de Sementes existente no Laboratório de Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

Origem das sementes

As sementes de amendoim cultivar BR-1 foram adquiridas junto ao Escritório de Negócios Tecnológicos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Algodão), localizada no município de Campina Grande – PB.

Nesse capítulo foram avaliadas as propriedades físicas de sementes de amendoim quanto a sua massa específica real e massa específica aparente, além das características físicas: porosidade, circularidade, esfericidade, volume, área projetada, massa de mil sementes e massa da semente.

As amostras de amendoim foram submetidas a condições de armazenamento, com temperaturas e umidades relativas controladas. Para simular as condições ambientais utilizou-se soluções ácidas (H_2SO_4) em diferentes concentrações, de acordo com a metodologia descrita por CAVALCANTI MATA et al. (2006) e soluções saturadas de sais, de acordo com a metodologia citada por GREENSPAN (1977) para uma determinada faixa de umidade relativa e temperatura, Tabela 1.1. Em cada recipiente (cesta metálica) foram colocadas 350g de sementes de amendoim, as quais foram acondicionadas em recipientes de vidro com capacidade de 2,5 litros e vedados com borracha silicone incolor, mantendo-se as amostras nas temperaturas e umidade relativas desejadas. Para isso foram utilizadas 04 câmaras incubadoras B.O.D. modelo RDE 35, nas temperaturas (10, 20,30 e 40°C), cada uma contendo 05 umidades relativas (10, 30, 50, 70 e 90%) e 06 repetições, totalizando 30 recipientes em cada incubadora.

Tabela 1.1 Atividade de água de soluções ácidas e soluções saturadas de sais.

Sal / Ácido	Temperatura			
	10 °C	20 °C	30 °C	40 °C
H ₂ SO ₄	0,054	0,041	0,1	0,125
MgCl ₂	0,3347	0,3307	0,3244	0,3160
NaBr	0,6215	0,5914	0,5603	0,5317
NaCl	0,7567	0,7547	0,7509	0,7468
KCl	0,8677	0,8511	0,8362	0,8232

Fonte: GREENSPAN (1977) e CAVALCANTI MATA et al. (2006)

As avaliações das propriedades físicas e das características físicas das sementes de amendoim foram realizadas ao longo de 06 meses de armazenamento em intervalos mensais (30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias). Para realizar as análises mensais utilizou-se uma repetição de cada umidade relativa simulada nas quatro temperaturas (5 x 4) totalizando 20 amostras.

3.1 Massa específica real

A massa específica real (ρ_r) foi determinada usando-se a relação entre a massa da semente e seu volume real. Para essa determinação da massa específica real utilizou-se o método de deslocamento de água, conforme metodologia descrita por MELO et al. (2007). Foram realizadas três repetições de cinco sementes para cada amostra através da Equação 1. 7.

$$\rho_{\text{real}} = \frac{m}{V_{\text{real}}} \quad (\text{I. 7})$$

onde:

ρ_r - massa específica real, g/cm³;

m - massa de uma unidade do produto, g/cm³;

V_{real} - volume, cm³.

3.2 Massa específica aparente

A massa específica aparente do amendoim ou densidade granular foi determinada pesando-se a massa existente em um recipiente com dimensões de 7,4cm de largura interna e 9,8 cm de altura interna. As medições foram realizadas com 3 repetições e o valor da massa específica foi calculada através da Equação I. 8.

$$\rho_{\text{aparente}} = \frac{m}{V_a} \quad (\text{I. 8})$$

ρ_{aparente} - massa específica aparente, g/cm³;

m - massa das sementes, g;

V_a - volume das sementes, cm³.

3.3 Porosidade

O valor da porosidade foi calculado utilizando-se a Equação I. 9, por meio da relação entre a massa específica real e massa específica aparente. Foram realizadas três repetições para as condições pré-existentes de temperatura e umidade relativa controladas ao longo de 06 meses de armazenamento.

$$\epsilon = \frac{(\rho_{\text{real}} - \rho_{\text{aparente}})}{\rho_{\text{real}}} \times 100 \quad (\text{I.9})$$

onde:

ϵ - porosidade, %;

ρ_{aparente} - massa específica aparente, g/cm³;

ρ_{real} - massa específica real, g/cm³.

3.4 Dimensões e área projetada das sementes

1º Método:

As medidas dos eixos ortogonais (mm) e a área projetada (mm^2) foram determinadas, por meio de projeção, com o auxílio de um retroprojetor. Cada semente foi projetada em duas posições distintas: 1ª Posição: na posição de repouso, em que obtive-se as medidas do comprimento (“a” - maior eixo) e largura (“b” – eixo médio); em seguida com um giro de 90° da semente na posição de repouso, 2ª Posição, em que obteve-se a medida da espessura (“c” – menor eixo), Figura I. 2. Nas duas posições as sementes tiveram seus contornos desenhados em papel milimetrado, formato A4, com uma escala pré-estabelecida de 1:3. Os valores da área projetada (mm^2) das sementes de amendoim foram obtidos através da projeção da semente (posição de repouso) no papel milimetrado, por meio da contagem da quantidade de mm^2 inscritos na área desenhada. Foram realizadas três repetições de quatro sementes, sendo doze sementes por amostra, totalizando 240 sementes analisadas a cada 30 dias.

2º Método:

As sementes utilizadas no método de análise de imagens foram as mesmas sementes utilizadas no método da projeção (1º método). As medidas dos eixos ortogonais e área projetada das sementes de amendoim foram realizadas através da análise de imagens em duas posições: 1ª Posição - comprimento (a), largura (b) e na 2ª Posição – espessura (c) da semente, Figura I. 2. As imagens foram capturadas com o auxílio de uma câmera digital *cyber-shot* 10.1 mega pixels, com Zoom Óptico 3.0 e altura de 28 cm entre a lente da câmera e a semente. O software utilizado para determinar as dimensões dos eixos foi o MATLAB 7.8 R2009a.

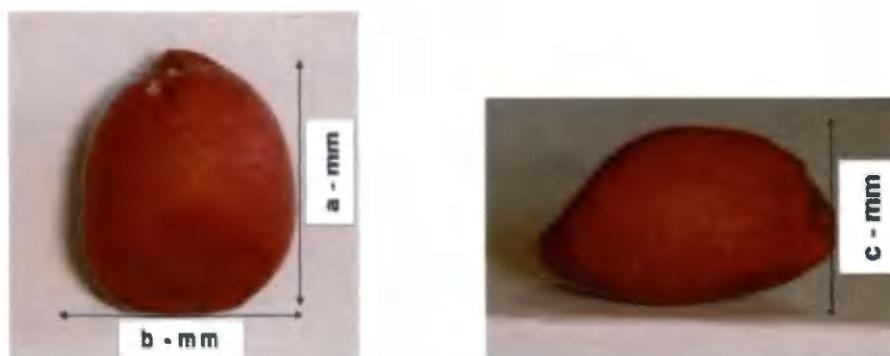


Figura 1.2 Representação dos eixos (a - maior eixo, mm; b - eixo médio, mm; c - menor eixo, mm) da semente de amendoim.

3.5 Esfericidade e circularidade

A esfericidade e a circularidade das sementes de amendoim, que é considerado um esferóide oblato (gira em torno de seu menor eixo), foram determinadas a partir das medidas das dimensões características dos eixos ortogonais “a”, “b” e “c” e a área projetada da semente determinada na posição de repouso.

A circularidade das sementes de amendoim (Eq. 11) foi determinada pela relação entre a área projetada da semente e a área do menor círculo que circunscribe essa semente. A esfericidade foi determinada pela relação entre os valores do diâmetro do maior círculo inscrito e o diâmetro da menor circunferência que circunscribe a semente projetada na posição de repouso (Eq.12). Foram realizadas determinações em 04 sementes com 03 repetições para cada condição controlada de armazenamento (4 temperaturas x 05 umidades relativas), totalizando 240 sementes analisadas a cada 30 dias.

Após a determinação dos eixos foram utilizadas as equações 1. 10 e 1. 11, para obtenção dos valores de circularidade (%) e esfericidade (%).

$$C_r = \frac{A_p}{A_c} \times 100 \quad (I. 10)$$

C_r - Circularidade, %;

A_p - Área projetada da semente na posição de repouso, mm²;

A_c - Área do menor círculo que circunscribe a semente na posição de repouso, mm².

$$E_s = \frac{d_i}{d_c} \times 100 \quad (I. 11)$$

E_s - Esfericidade, %;

d_i - Diâmetro do maior círculo inscrito na projeção da semente, na posição de repouso, mm;

d_c - Diâmetro da menor circunferência que circunscribe a projeção da semente na posição de repouso, mm.

3.6 Volume

1º Método:

O volume das sementes foi determinado com os valores dos eixos ortogonais (“a”, “b” e “c”) obtidos por meio da projeção, utilizando-se a equação 12, proposta por MOHSENIN (1986). As medições foram realizadas em 4 sementes, com 3 repetições, para cada condição controlada de armazenamento (4 temperaturas x 5 umidades relativas), totalizando 240 sementes analisadas a cada 30 dias.

$$V_s = \frac{\pi a b c}{6} \quad (I.12)$$

V_s - Volume da semente, cm^3 ;

a, b e c – Eixos ortogonais da semente, mm;

3.7. Massa da semente

A massa das sementes foi obtida através de balança analítica com precisão de 0,0001g. As pesagens foram realizadas em 4 sementes, com 3 repetições, para cada condição controlada de armazenamento (4 temperaturas x 5 umidades relativas), totalizando 240 sementes analisadas a cada 30 dias.

3.8. Massa de mil sementes

A massa de mil sementes foi determinada através de pesagem por meio de balança analítica com precisão de 0,0001g. As pesagens foram feitas de acordo com as técnicas descritas nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), modificando-se o quantitativo de sementes que foram de 100 sementes para cada amostra, com três repetições.

3.9. Delineamento estatístico

Considerando os parâmetros fixos da temperatura, umidade relativa e tempo, em função das variáveis analisadas, utilizou-se o método Quasi-Newton de análise de regressão não linear do programa Statistic 5.0, com um critério de convergência de 0,0001, para o ajuste dos modelos matemáticos de regressão, por meio dos melhores coeficientes de correlação (R^2), erro relativo (P) e distribuição dos resíduos.

3.10. Erro experimental

Utilizou-se a Equação I. 13 para calcular o erro experimental (%) entre os dois métodos utilizados na determinação das dimensões (comprimento, largura e espessura) e área projetada das sementes de amendoim:

$$P (\%) = \frac{|V_{cal} - V_{exp}|}{V_{exp}} \times 100 \quad (I.13)$$

onde:

P – Erro médio relativo, %;

V_{cal} – Valor calculado no papel milimetrado, mm;

V_{exp} – Valor experimental do Matlab 7.8 R2009a, mm.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Massa específica real

Os resultados das médias da massa específica aparente referente ao tempo de armazenamento, umidade relativa e temperatura, para as sementes de amendoim, se encontram na Tabela A1 do apêndice

Nas Figuras 1.3, 1.4, 1.5 e 1.6 encontram-se os resultados experimentais obtidos através de análise de regressão não linear da massa específica real das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento, para as temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C, respectivamente.

Observa-se nas Figuras 1.3 a 1.6 que, em determinadas condições, a massa específica real do amendoim aumentou com o aumento da umidade relativa em função do tempo de armazenamento. Verifica-se que houve um aumento da massa específica real à medida que ocorreu a elevação da umidade relativa do ar, provavelmente devido ao alto vapor de água presente nessa condição, concordando com a tendência descrita por COUTO et al. (1999) e SOUZA (2001). Resultados distintos foram encontrados por BENEDETTI (1987), onde o amendoim apresentou decréscimo na massa específica real com o aumento do teor de água. O mesmo também observou que a massa específica real do amendoim não apresentou correlação linear.

Observa-se na Tabela A1 do apêndice que aos 30 e 60 dias de armazenamento, para todas as temperaturas e umidades relativas, que a massa específica real aumentou expressivamente, variando entre 1004,07 e 1125,58 kg.m⁻³, aumento de 12%, onde os maiores valores para massa específica real foram obtidos na temperatura de 40°C. Mediante os resultados de pesquisas RESENDE et al. (2008) afirmam que a redução do teor de água influencia no aumento da massa específica real dos grãos de feijão. Esta influência pode ser analisada, observando-se dados do capítulo II deste trabalho, onde se constata a evolução do teor de água das sementes sob condições controladas de temperatura e umidade relativa.

Na Figura 1.3 observa-se que houve um aumento nos valores da massa específica real em função do tempo de armazenamento e da umidade relativa, variando entre 1004,07 e 1112,73 kg.m⁻³ aos 30 e 180 dias de armazenamento respectivamente. Resultados semelhantes foram encontrados por RIBEIRO et al. (2002), estudando as propriedades físicas de diversos

produtos, onde observaram que a massa específica real do amendoim variou entre 1102 e 1105 kg.m⁻³.

Na Figura 1.4 observa-se que o comportamento foi semelhante para as condições de 10°C, onde os valores da massa específica real variam em função do tempo e da umidade relativa. Na temperatura de 20°C os valores da massa específica real oscilaram entre 1013,39 e 1125,58 kg.m⁻³. SANTANA & BRAGA (1999) estudando parâmetros aerodinâmicos do amendoim observaram que a massa específica real variou entre 1050 e 1080 kg.m⁻³.

Observa-se na temperatura de 30°C, Figura 1.4, que ocorreu um aumento dos valores da massa específica real variando entre 1028,16 e 1132,08 kg.m⁻³, aos 30 e 90 dias de armazenamento. Observa-se na mesma figura que aos 90 dias de armazenamento as sementes de amendoim atingiram a umidade de equilíbrio. Aos 180 dias observa-se que houve uma redução nos valores da massa específica real, quando comparados aos valores de 150 dias de armazenamento. Provavelmente, nesse momento, houve o processo de desorção, onde a semente cedeu água para o ambiente de armazenamento.

Na Figura 1.5 verifica-se que a massa específica real das sementes de amendoim variou entre 1027,86 e 1126,80 kg.m⁻³, aos 30 e 90 dias de armazenamento, respectivamente. Verifica-se que a partir dos 120 dias de armazenamento, na temperatura de 40°C, houve uma redução nos valores da massa específica real e do teor de água. O que pode ser explicado pelo fato dos espaços, antes ocupados pela água, ficaram vazios com a retirada da água, modificando a quantidade de massa para o mesmo volume (CORRÊA et al., 2003), ou seja houve um encolhimento da semente de amendoim para essas condições de armazenamento.

A partir dos resultados experimentais, observa-se que para as condições com alta umidade relativa, em todas as temperaturas, houve elevação da massa específica real, enquanto que comportamento menos expressivo foi observado para baixas umidades relativas. Assim, pode-se concluir que a massa específica real tem uma correlação direta com a umidade relativa e, conseqüentemente, com o teor de água.

Verifica-se que aos 90 dias de armazenamento as sementes de amendoim atingiram sua condição de equilíbrio, fenômeno este que pode ser visualizado nas figuras 1.3 a 1.6, onde a superfície de resposta tende a uma constância, quando comparadas aos demais períodos de armazenamento. Assim verifica-se haver uma relação entre a massa específica real e o teor de água, porém essa relação sofre oscilações em determinadas condições de armazenamento, tendência essa observada por BENEDETTI (1987) que ao avaliar as massas específicas de

diversos produtos, verificou que o amendoim não apresentou correlação linear entre as massas específica real e o teor de água. Outro fator observado no decorrer do experimento foi o surgimento de fungos nas condições de alta umidade relativa, para todas as temperaturas, onde os mesmos são provenientes de uma atividade biológica da massa das sementes podendo ter causado alguma interferência nos resultados experimentais da massa específica real, evidentemente onde esses microorganismos ocorreram.

Massa específica real das sementes de amendoim

$$M_{\text{esp real}} = 093,419 + 1,3047 \text{ UR} + 1,3047 t - 0,0053 t^2 - 0,00109 t \text{ UR} - 0,02116 \text{ UR}^2 + 0,000001 t^3 + 0,00009 \text{ UR}^3 + 0,00005 t \text{ UR}^2 - 0,00004 t^2 \text{ UR} \quad R^2 = 79,0\%$$

Temperatura 10°C

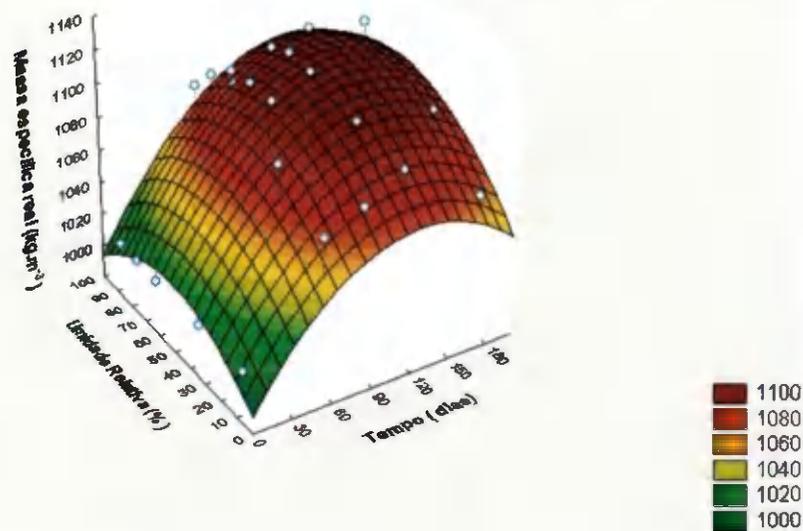


Figura 1.3 Massa específica real das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 10°C.

Massa específica real das sementes de amendoim

$$M_{\text{esp real}} = 987,49 + 1,615 \text{ UR} + 1,615 t - 0,00814 t^2 + 0,007187 t \text{ UR} - 0,0153 \text{ UR}^2 + 0,000007 t^3 - 0,000022 \text{ UR}^3 - 0,000058 t \text{ UR}^2 - 0,000016 t^2 \text{ UR} \quad R^2 = 78\%$$

Temperatura 20°C

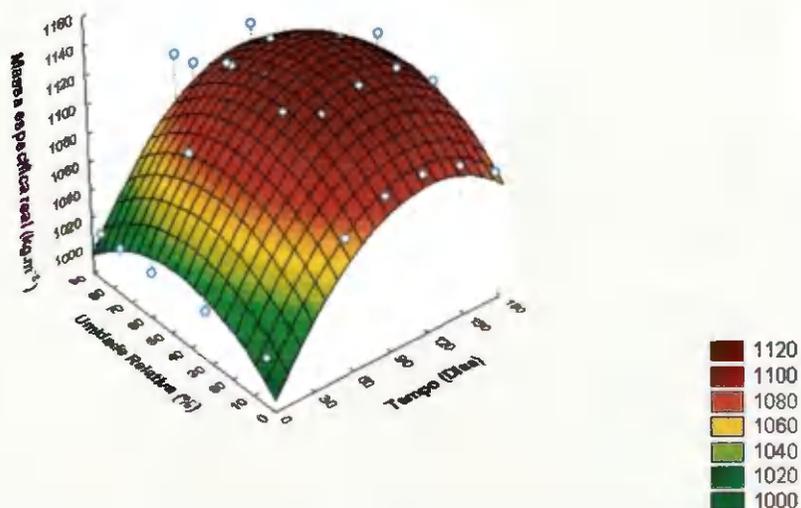


Figura 1.4 Massa específica real das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 20°C.

Massa específica real das sementes de amendoim

$$M_{\text{esp real}} = 998,34 + 1,8053 \text{ UR} + 1,8053 t - 0,01768 t^2 + 0,014005 t \text{ UR} - 0,049229 \text{ UR}^2 + 0,000056 t^3 + 0,00037 \text{ UR}^3 - 0,000055 t \text{ UR}^2 - 0,000051 t^2 \text{ UR} \quad R^2 = 73,4\%$$

Temperatura 30°C

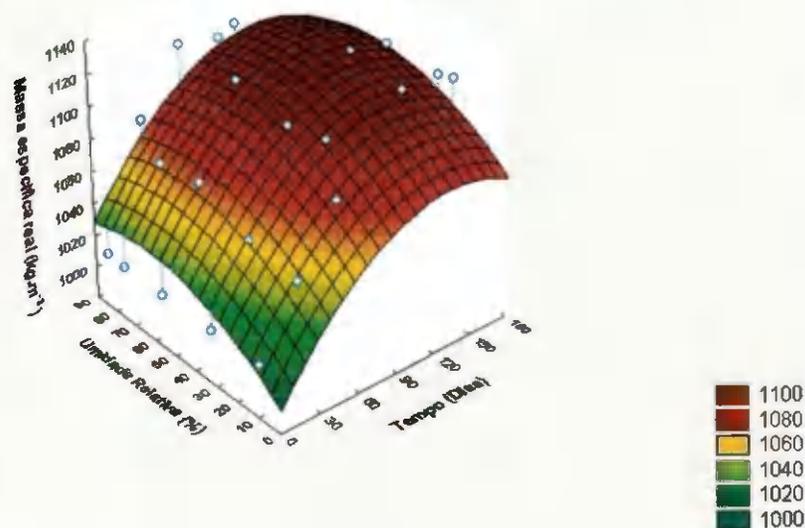


Figura 1.5 Massa específica real das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 30°C.

Massa específica real das sementes de amendoim

$$M_{\text{esp real}} = 988,18 + 1,5864 \text{ UR} + 1,5664 \text{ t} - 0,01684 \text{ t}^2 + 0,03421 \text{ t UR} - 0,02795 \text{ UR}^2 + 0,00005 \text{ t}^3 + 0,000157 \text{ UR}^3 - 0,000205 \text{ t UR}^2 - 0,000102 \text{ t}^2 \text{ UR} \quad R^2 = 96,62\%$$

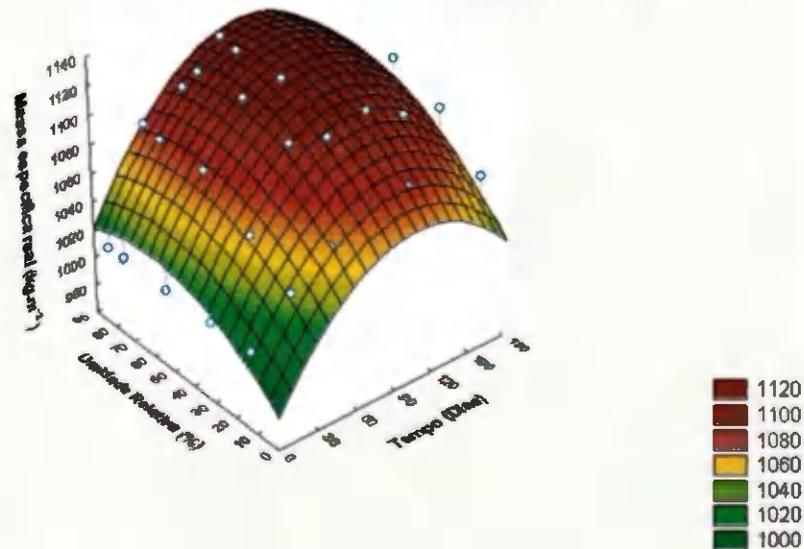
Temperatura 40°C

Figura 1.6 Massa específica real das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 40°C.

Observa-se, Tabela 1.2, que o modelo cúbico se ajustou satisfatoriamente aos dados experimentais da massa específica real das sementes de amendoim, para a temperatura de 40°C, devido a ter um coeficiente de determinação de 96,62%, baixo erro relativo, 0,51%, e distribuição de resíduo aleatório, Figura A1 do apêndice. Para as demais temperaturas (10, 20 e 30°C) o modelo cúbico não foi satisfatório para predição dos dados experimentais, devido a baixos coeficientes de determinação, maiores erros relativos e distribuição tendenciosa dos resíduos, que pode ser justificado pela complexidade dos dados experimentais, demandando assim, modelos matemáticos mais complexos.

Tabela 1.2. Coeficientes de determinação (R^2), erros relativos (P) e tendência de distribuição de resíduos do modelo cúbico da massa específica real de sementes de amendoim armazenadas por 06 meses sob condições controladas de temperatura (10, 20, 30 e 40°C) e umidade relativa do ar (10, 30, 50, 70 e 90%).

Temperatura (°C)	R^2 (%)	P (%)	Tendência
10	79	1,22	Tendenciosa
20	78	1,30	Tendenciosa
30	73,4	1,20	Tendenciosa
40	96,62	0,51	Aleatória

4.2 Massa específica aparente

Os resultados das médias da massa específica aparente referente ao tempo de armazenamento de 6 meses, umidade relativa (10, 30, 50, 70 e 90%) e temperatura (10, 20, 30 e 40°C), para as sementes de amendoim, se encontram na Tabela A 2 do apêndice.

Na Figura 1.7, 1.8, 1.9 e 1.10, encontram-se os resultados experimentais e obtidos através de análise de regressão não linear (modelos cúbicos) da massa específica aparente das sementes de amendoim em função do tempo de armazenamento e da umidade relativa para a temperatura de 10, 20, 30 e 40°C, respectivamente. Observa-se nas mesmas figuras, que os valores experimentais para massa específica aparente das sementes de amendoim aumentou aos 30 dias de armazenamento para todas as temperaturas (10, 20, 30 e 40 °C) e umidades relativas, variando entre 628,34 e 670,51 kg.m⁻³, que corresponde a um aumento de 6,28%.

Observa-se na Figura 1.7, uma oscilação dos valores da massa específica aparente entre o período de 60 e 90 dias de armazenamento, para todas as condições de umidade relativa na temperatura de 10 °C. No período entre os 120 e 150 dias observa-se uma diminuição e um aumento respectivamente para os valores experimentais observados. Enquanto aos 180 dias de armazenamento, a amostra da condição de 10 °C e 86,77 % UR foi descartada devido presença de fungos causada pela intensa atividade biológica. Provavelmente, essa oscilação de valores para massa específica aparente ocorreu devido às oscilações dos teores de água que também variam nesse mesmo período entre os valores 4,01 e 18,8 (% b.s.). Com o aumento do teor de água de 8,67 para 12,59 (% b.s.) para a condição de 10 °C e 75,67 % UR, a massa específica aparente diminuiu de 658,01 para 633,82 kg.m⁻³

entre o período de 30 e 120 dias, ou seja, uma diminuição de 3,8%. Esses resultados concordam com BENEDETTI (1987) onde o mesmo observou que o amendoim apresentou um decréscimo na massa específica aparente, com o aumento do teor de água.

Massa específica aparente das sementes de amendoim

$$M_{\text{esp apar}} = 610,9655 + 1,1104 \text{ UR} - 1,1104 t - 0,0085 t^2 - 0,0044 t \text{ UR} - 0,0223 \text{ UR}^2 + 0,000022 t^3 + 0,00012 \text{ UR}^3 - 0,000009 t \text{ UR}^2 - 0,00001 t^2 \text{ UR} \quad R^2 = 70,7\%$$

Temperatura 10°C

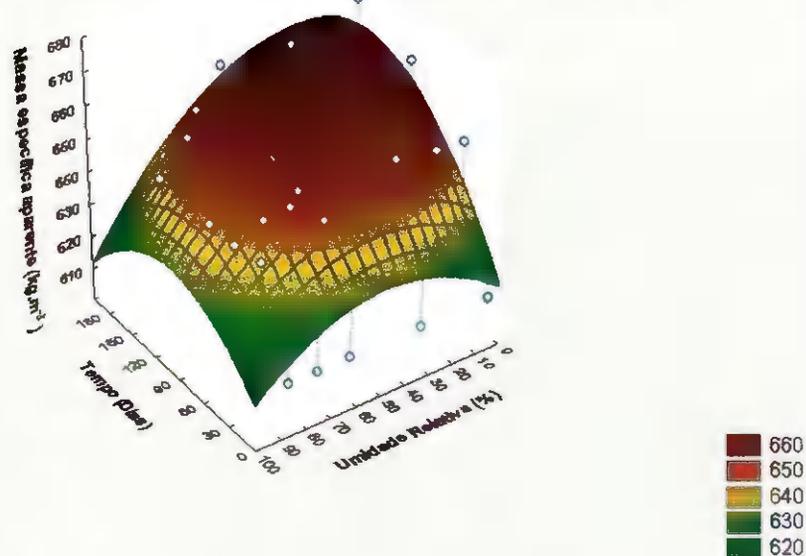


Figura 1.7 Massa específica aparente das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 10°C.

Na Figura 1.8 encontram-se os resultados experimentais da massa específica aparente das sementes de amendoim em função do tempo de armazenamento e umidade relativa para temperatura de 20°C, obtidos através de análise de regressão não linear. Observa-se nessa figura que os valores da massa específica aparente oscilam entre 620,82 e 670,51 kg.m⁻³ no decorrer dos 180 dias de armazenamento, para todas as condições de umidade relativa na temperatura de 20 °C. Aos 60 dias de armazenamento com o aumento da umidade relativa de 4,1 para 85,11%, a massa específica aparente diminuiu de 656,35 para 625,41 kg.m⁻³. Essa diminuição ocorre, provavelmente, devido ao aumento do volume da semente. O volume das sementes é aumentado em função do aumento do teor de água decorrente do aumento da umidade relativa do ar. Portanto, as sementes com maior teor de água, têm uma coesividade maior, provocando uma maior quantidade de sementes colocadas no mesmo volume,

acarretando, dessa forma, uma diminuição da massa específica aparente do produto. Na condição de umidade relativa de 4,1% houve uma elevação continua dos valores da massa específica aparente com o período de armazenamento, variando de 655,40 kg.m⁻³ aos 30 dias para 663,30 kg.m⁻³ aos 180 dias, que corresponde a 1,25% de aumento. Assim, sementes que estão armazenadas em umidades relativas menores, que provavelmente estão com teores de água menor, possuem um comportamento de reduzir suas dimensões, sendo possível acondicionar maiores quantidades de massa em menores volumes. Tais informações são confirmadas por CORRÊA et al. (2003) que ao realizar um experimento com milho, alpiste e painço observou que a massa específica aparente aumenta com a diminuição do teor de água dos produtos. Segundo o autor pode ser explicado pelo fato dos espaços antes ocupados por água, passarem a estar vazios após a retirada de água, modificando a relação massa e volume do grão. Com o aumento da umidade relativa do ar de 75,47 para 85,11% foi necessário realizar o desearte das amostras devido à presença de fungos, causada pela intensa atividade biológica, a partir dos 150 dias de armazenamento.

Massa específica aparente das sementes de amendoim

$$M_{\text{esp apar}} = 605,8865 + 1,4888 \text{ UR} - 1,4888 \text{ t} - 0,0154 \text{ t}^2 - 0,0082 \text{ t UR} - 0,0212 \text{ UR}^2 + 0,000049 \text{ t}^3 + 0,000056 \text{ UR}^3 + 0,00002 \text{ t UR}^2 + 0,000031 \text{ t}^2 \text{ UR} \quad R^2 = 77,75\%$$

Temperatura 20°C

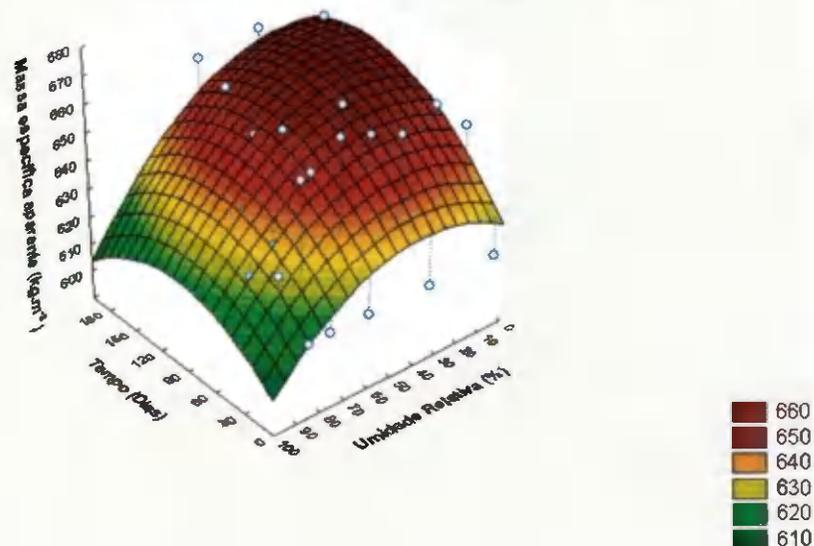


Figura 1.8 Massa específica aparente das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 20°C.

Na Figura 1.9 encontram-se os resultados experimentais da massa específica aparente das sementes de amendoim em função do tempo de armazenamento e umidade relativa para temperatura de 30°C, obtidos através de análise de regressão não linear. Observa-se nessa figura, que a oscilação dos valores experimentais para massa específica aparente ocorre durante todo o período de armazenamento, para todas as condições de umidade relativa na temperatura de 30 °C. Onde os valores oscilaram entre 620,12 e 671,22 kg.m⁻³ para todas as condições de armazenamento. Aos 60 dias de armazenamento com o aumento da umidade relativa de 10 para 83,63% ocorre uma diminuição da massa específica aparente de 655,96 para 647,73 kg.m⁻³, que corresponde a uma diminuição de 1,25%. Comportamento este observado para os demais períodos de armazenamento, semelhantes aos dados observados na temperatura de 20°C. Provavelmente essa diminuição ocorre devido a elevação do teor de água, e conseqüentemente o volume da semente. RESENDE et al. (2008) mediante os resultados de pesquisas afirmam que a elevação do teor de água influencia as propriedades físicas dos grãos de feijão, proporcionando diminuição da massa específicas aparente. Na condição de umidade relativa de 83,62% houve uma diminuição de 650,5 para 620,12 kg.m⁻³ entre o período de 30 a 120 dias de armazenamento, respectivamente, que corresponde a uma redução de 4,9% da massa específica aparente. RUFFATO et al. (1999) observaram que a massa específica aparente diminui com o aumento do teor de água do produto, seguindo as mesmas características da maioria dos produtos agrícolas. Com o aumento da umidade relativa do ar de 75,09 para 83,62% foi necessário realizar o descarte das amostras devido presença de fungos causada pela intensa atividade biológica, a partir dos 150 dias de armazenamento.

Massa específica aparente das sementes de amendoim

$$M_{\text{esp apar}} = 602,8529 + 1,5211 UR + 1,5211 t - 0,0153 t^2 + 0,0015 t UR - 0,0306 UR^2 + 0,000045 t^3 - 0,00017 UR^3 - 0,000064 t UR^2 + 0,000008 t^2 UR \quad R^2 = 81,45\%$$

Temperatura 30°C

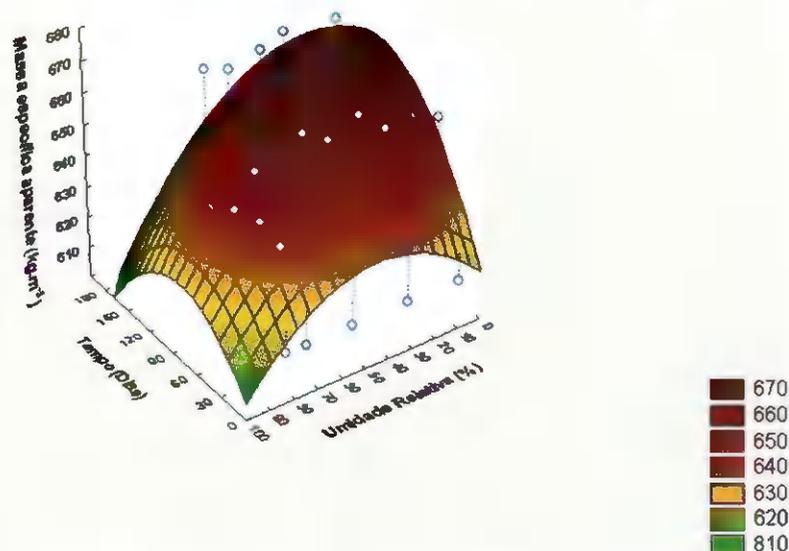


Figura 1.9 Massa específica aparente das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 30°C.

Na Figura 1.10 encontram-se os resultados experimentais da massa específica aparente das sementes de amendoim em função do tempo de armazenamento e umidade relativa para temperatura de 40°C, obtidos através de análise de regressão não linear. Nessa figura, encontram-se os valores da massa específica aparente que variam entre 612,91 a 664,75 kg.m⁻³ no decorrer do armazenamento para todas as umidades relativas na temperatura de 40 °C. BENEDETTI (1987) estudando a massa específica aparente de sementes de amendoim para uma faixa de teor de água de 9,93 a 25,32 % observou-se que à medida que os valores de teor de água aumentou, a massa específica aparente diminuiu, onde o mesmo obteve os valores para massa específica aparente entre 625 e 601 kg.m⁻³ para as condições descritas. BENEDETTI (1987) estudando vários produtos agrícolas observou que o amendoim, por sua vez, foi o produto que apresentou menores alterações das grandezas em função do aumento do teor de água. O mesmo autor relata que este fato ocorreu possivelmente devido ao alto teor de gorduras existente na sua composição.

Massa específica aparente das sementes de amendoim

$$M_{\text{esp apar}} = 596,5290 + 1,5365 UR + 1,5365 t - 0,0143 t^2 - 0,0059 t UR - 0,0205 UR^2 + 0,00004 t^3 + 0,00005 UR^3 - 0,000029 t UR^2 + 0,000034 t^2 UR \quad R^2 = 80,42\%$$

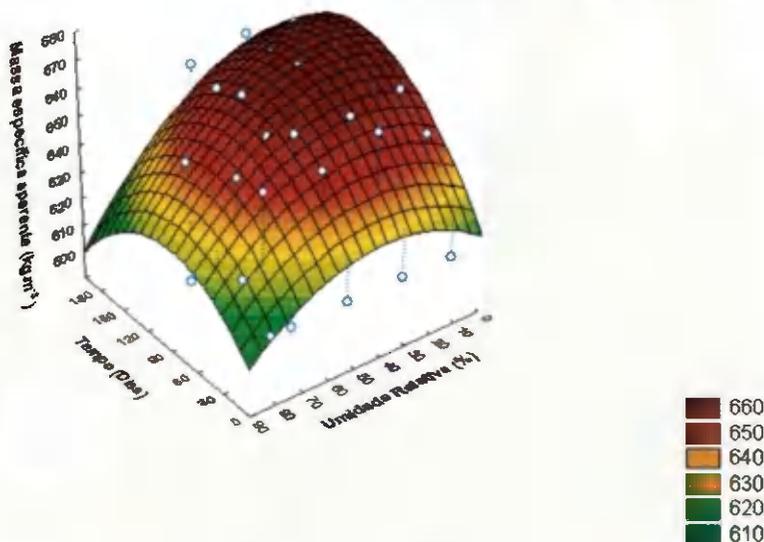
Temperatura 40°C

Figura 1.10 Massa específica aparente das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 40°C.

Observa-se, Tabela 1.3, que o modelo cúbico não foi satisfatório na predição dos dados experimentais da massa específica aparente das sementes de amendoim, para as condições estudadas, devido a baixos coeficientes de determinação, maiores erros relativos e distribuição tendenciosa dos resíduos, que pode ser justificado pela complexidade dos dados experimentais, demandando, assim, modelos matemáticos mais complexos, Figura A2 do apêndice.

Tabela 1.3. Coeficientes de determinação (R^2), erros relativos (P) e tendência de distribuição de resíduos do modelo cúbico da massa específica aparente de sementes de amendoim armazenadas por 06 meses sob condições controladas de temperatura (10, 20, 30 e 40°C) e umidade relativa do ar (10, 30, 50, 70 e 90%).

Temperatura (°C)	R^2 (%)	P (%)	Tendência
10	70,7	1,07	Tendenciosa
20	77,75	1,01	Tendenciosa
30	81,45	2,79	Tendenciosa
40	80,42	2,81	Tendenciosa

4.3 Porosidade

Os resultados das médias da porosidade referente ao tempo de armazenamento (6 meses), umidade relativa (10, 30, 50, 70 e 90%) e temperatura (10, 20, 30 e 40°C), para as sementes de amendoim, se encontram na Tabela A3 do apêndice.

Nas Figuras 1.11, 1.12, 1.13 e 1.14 encontram-se os resultados experimentais obtidos através de análise de regressão não linear da porosidade das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento, para as temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C, respectivamente. Nas mesmas figuras verifica-se que a porosidade do amendoim é diretamente proporcional ao teor de água, onde houve uma elevação nos valores da porosidade, para todas as temperaturas estudadas, à medida que o teor de água aumentou. Resultados semelhantes também foram observados por outros autores, para diversos produtos agrícolas (RUFFATO et al. 1999; CORRÊA et al., 2003).

Na temperatura de 10°C, Figura 1.11, observa-se que a porosidade variou entre 35,77 e 42,26% à medida que a umidade relativa se elevou de 5,4 para 86,77%, que corresponde a um aumento de 15,35%, ao longo dos 180 dias de armazenamento. Para umidade relativa de 5,4%, houve uma diminuição de 9% da porosidade, com relação à porosidade na implantação. Verifica-se que o aumento da porosidade foi mais elevado, na umidade relativa de 86,77%, quando comparada com as outras condições de umidade relativa e com um aumento de 23% da porosidade, comparado ao valor da porosidade na implantação. Observa-se um maior aumento, nas altas umidades relativas, devido às condições saturadas do ambiente de armazenamento, aumentando, assim, o teor de água e conseqüentemente a porosidade do amendoim. O teor de água é um fator que determina a variação da porosidade de um produto agrícola, pois um produto mais úmido terá uma tensão superficial maior que a de um produto mais seco (CAVALCANTI MATA & DUARTE, 2002). Os valores de porosidade das sementes de amendoim aumentaram com a elevação do teor de água, o que influenciou o formato da semente, deixando-a mais volumosa tendendo a deixar macro poros na massa, ocasionando valores maiores de porosidade à medida que aumentou o teor de água.

Observa-se em todas as temperaturas estudadas, que os valores da porosidade diminuíram nas condições de baixa umidade relativa. Para umidade relativa variando de 4,1 e 12,5% observou-se uma variação da porosidade entre 35,77 e 40,77%, percebendo-se uma diminuição dos valores de porosidade nos três primeiros meses de armazenamento.

Observa-se na Figura 1.12, que a porosidade variou entre 35,63 e 44,28% durante todo o período de armazenamento, que corresponde a uma oscilação de 19,53% para porosidade. Verifica-se que houve uma diminuição da porosidade e do teor de água nas condições de baixa umidade relativa, quando comparadas ao valor inicial das amostras. O contrário ocorreu com o aumento da porosidade e do teor de água das sementes de amendoim, quando armazenadas em condições de alta umidade relativa. Podemos observar que na umidade relativa de 4,1% houve uma diminuição de 8% no valor da porosidade, devido provavelmente à diminuição do teor de água. CORRÊA et al. (2003) verificaram que, devido à diminuição do teor de água, a redução da porosidade de grãos de feijão está relacionada diretamente com a contração volumétrica do produto, havendo, assim, menor presença de espaços vazios na massa de grãos e conseqüentemente um melhor acondicionamento da massa, que corresponde a diminuição da porosidade. Com o aumento da umidade relativa do ar de 75,47 para 85,11% foi necessário realizar o descarte das amostras devido presença de fungos causada pela intensa atividade biológica, a partir dos 150 dias de armazenamento.

Na Figura 1.13, observa-se que a porosidade variou entre 35,25 e 43,61%, durante os 180 dias de armazenamento, que corresponde a uma variação de 19,16% da porosidade. Nessa figura, temperatura de 30°C, observa-se o mesmo comportamento da porosidade das sementes de amendoim nas temperaturas de 10 e 20°C, onde se pode verificar um aumento da porosidade à medida que aumenta os valores de umidade relativa de 10 para 83,62%. À medida que o teor de água do produto se eleva, ocorre o aumento da porosidade (HENRIQUES et al., 2005; RIBEIRO et al., 2005). Em estudos realizados GONELI et al. (2008), observaram que a porosidade dos frutos de mamona, descreve comportamento semelhante à maioria dos produtos agrícolas, apresentando redução dos seus valores com a redução do teor de água. Com o aumento da umidade relativa do ar de 75,09 para 83,62% foi necessário realizar o descarte das amostras devido à presença de fungos causada pela intensa atividade biológica, a partir dos 150 dias de armazenamento.

Na Figura 1.14, observa-se uma variação da porosidade entre 36,35 e 45,60%, que corresponde a um aumento de 20,28%, ao longo dos 180 dias armazenamento. Esses resultados concordam com BENEDETTI (1987), que ao trabalhar com sementes de amendoim observou que a porosidade variou entre 39,79 e 41,71%. Para a umidade relativa de 82,32% de umidade relativa, verifica-se um aumento da porosidade de 41,83 para 45,60%, aos 30 e 90 dias de armazenamento, respectivamente, que corresponde a um aumento de

8,26%. Provavelmente, para as condições de alta umidade relativa, o aumento da porosidade ocorreu devido ao surgimento de fungos causando assim atividade biológica, formando uma camada sobre a superfície da semente, alterando essa característica física. Outro aspecto importante é a falta de uniformidade das sementes de amendoim, que pode interferir diretamente na porosidade intergranular (CAVALCANTI MATA & DUARTE, 2002).

Assim verifica-se que a porosidade das sementes de amendoim possui uma relação direta com o teor de água, onde essa relação é mais elevada para condições ambientais de alta umidade relativa em todas as temperaturas estudadas. Fenômeno esse que pode ser explicado devido ao excesso de vapor de água presente nas condições de alta umidade relativa e conseqüentemente maior absorção de água pela amostra e aumento do teor de água do produto. A porosidade pode ser influenciada por outros fatores como forma, tamanho e desuniformidade do produto (CAVALCANTI MATA & DUARTE, 2002).

Observa-se, Tabela 1.4, que o modelo cúbico não foi satisfatório na predição dos dados experimentais da porosidade de sementes de amendoim, para as condições estudadas, devido a baixos coeficientes de determinação, maiores erros relativos e distribuição tendenciosa dos resíduos, que pode ser justificado pela complexidade dos dados experimentais, demandando, assim, modelos matemáticos mais complexos, Figura A3 do apêndice.

Porosidade das sementes de amendoim

$$P = 38,5511 - 0,0328 UR - 0,0328 t + 0,00054 t^2 + 0,00038 t UR + 0,00093 UR^2 - 0,000002 t^3 - 0,000007 UR^3 + 0,000001 t UR^2 - 0,000001 t^2 UR \quad R^2 = 45,3 \%$$

Temperatura 10°C

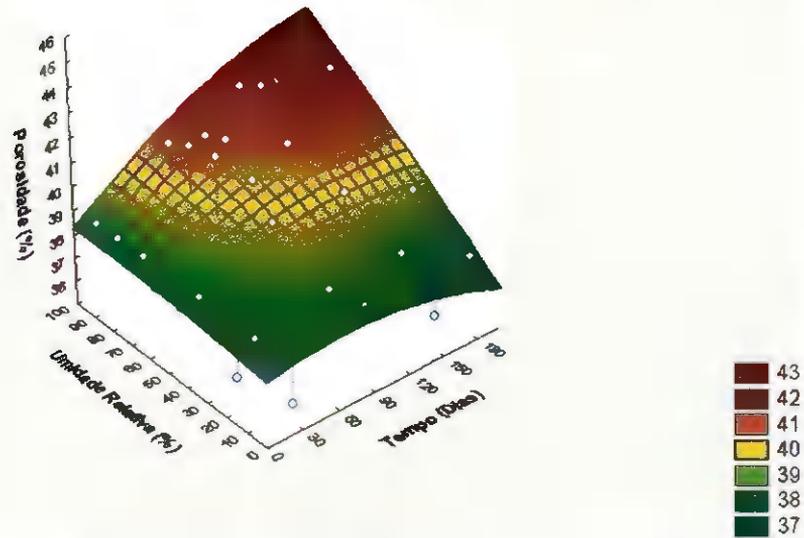


Figura 1.11 Porosidade das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 10°C.

Porosidade das sementes de amendoim

$$P = 38,9480 - 0,0602 UR - 0,0602 t + 0,00109 t^2 + 0,00163 t UR + 0,00044 UR^2 - 0,000004 t^3 + 0,000004 UR^3 - 0,000008 t UR^2 - 0,000005 t^2 UR \quad R^2 = 66 \%$$

Temperatura 20°C

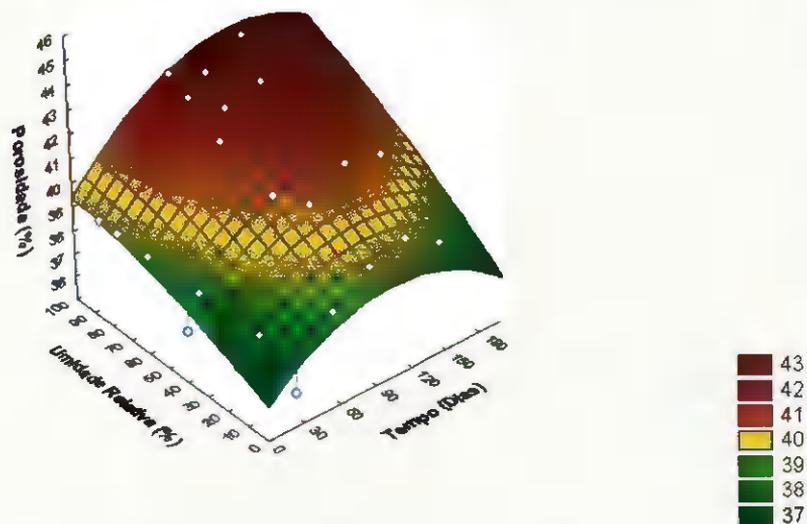


Figura 1.12 Porosidade das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 20°C.

Porosidade das sementes de amendoim

$$P = 39,5602 - 0,0527 UR - 0,0527 t + 0,00054 t^2 + 0,00124 t UR + 0,00077 UR^2 - 0,000001 t^3 - 0,000002 UR^3 - 0,000006 t^2 UR \quad R^2 = 73,1 \%$$

Temperatura 30°C

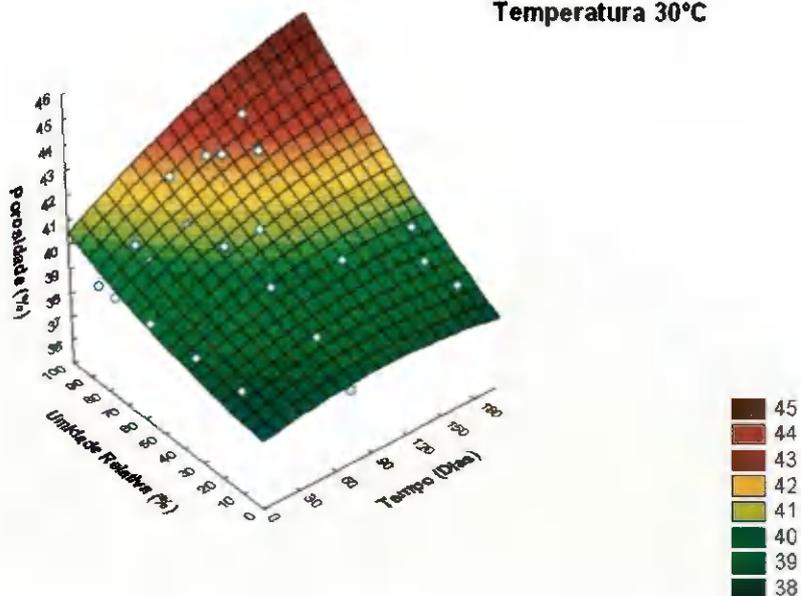


Figura 1.13 Porosidade das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 30°C.

Porosidade das sementes de amendoim

$$P = 39,5686 - 0,0542 UR - 0,0542 t + 0,00038 t^2 + 0,0024 t UR + 0,00036 UR^2 - 0,000001 t^3 + 0,000004 UR^3 - 0,000009 t UR^2 - 0,000009 t^2 UR \quad R^2 = 80 \%$$

Temperatura 40°C

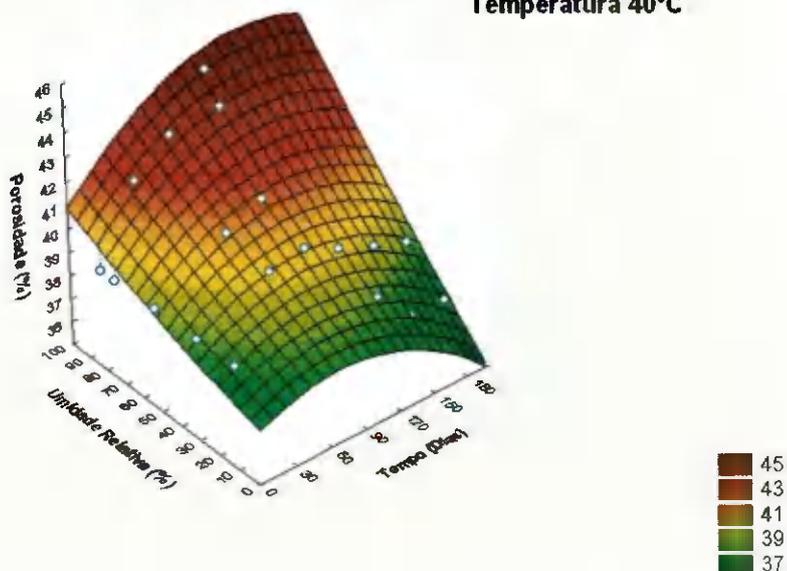


Figura 1.14 Porosidade das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 40°C.

Tabela 1.4. Coeficientes de determinação (R^2), erros relativos (P) e tendência de distribuição de resíduos do modelo cúbico da porosidade de sementes de amendoim armazenadas por 06 meses sob condições controladas de temperatura (10, 20, 30 e 40°C) e umidade relativa do ar (10, 30, 50, 70 e 90%).

Temperatura (°C)	R^2 (%)	P (%)	Tendência
10	45,3	3,20	Aleatória
20	66	2,56	Aleatória
30	73,1	1,74	Tendenciosa
40	80	1,80	Tendenciosa

4.4 Circularidade e esfericidade

Os resultados das médias da circularidade e esfericidade referente ao tempo de armazenamento (6 meses), umidade relativa (10, 30, 50, 70 e 90%) e temperatura (10, 20, 30 e 40°C), para as sementes de amendoim, se encontram nas Tabela A4 e A5 do apêndice.

Observa-se entre as Figuras 1.15 a 1.22 os resultados experimentais obtidos através de análise de regressão não linear da circularidade e esfericidade das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo (6 meses) de armazenamento, para as temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C, respectivamente.

Na Figura 1.15, observa-se que houve uma redução da circularidade para as umidades relativas entre 5,4 e 86,77%, sendo observada a maior redução na umidade relativa de 62,15% com circularidade de 56,36%, que corresponde a uma redução de 12,5%, com relação ao valor inicial. Ainda na figura, observa-se que aos 30 e 60 dias de armazenamento houve uma diminuição acentuada da circularidade, com uma estabilização nos valores entre 90 e 120 dias, seguido de uma nova redução aos 150 e 180 dias. Verifica-se que na umidade relativa de 86,77% aos 180 dias de armazenamento, realizou-se o descarte da amostra devido à presença de fungos. Comportamento semelhante na variação da esfericidade do amendoim pode ser observado na Figura 1.17, com diferença no período do descarte das amostras devido ao surgimento de fungos, que ocorreu a partir dos 120 dias de armazenamento. Provavelmente, essa oscilação da circularidade nas sementes de amendoim ocorre devido a variação do teor de água durante o armazenamento e conseqüentemente variações nas dimensões e volume das sementes. RESENDE et al. (2005) concluíram que a forma do feijão é influenciada pela

redução do teor de água, onde a esfericidade e a circularidade variaram entre 61,52 e 64,55%, para uma faixa de 0,92 a 0,13% (b.s.) de teor de água.

Na Figura 1.16, verifica-se uma diminuição acentuada dos valores da circularidade no decorrer do armazenamento. Onde, nas umidades relativas entre 10 e 83,62%, houve uma diminuição da circularidade aos 30 e 60 dias, seguido de um aumento aos 90 e 120 dias e novamente diminuição aos 150 e 180 dias de armazenamento. Para essa faixa de umidade relativa os valores da circularidade oscilam entre 57,32 e 65,39%, que corresponde a uma variação de 12,3% da circularidade. Esse comportamento pode ser visualizada na curva da superfície de resposta para as condições de 20 e 40°C, Figuras 1.16 e 1.18.

A partir dos dados experimentais observa-se que houve uma diminuição nos valores da circularidade para todas as condições de armazenamento em função do tempo de armazenamento com exceção das umidades relativas de: 4,1 aos 90 e 120 dias; 31,6%, 56,03%, 82,32% aos 60 dias; 12,5% aos 90 dias.

Quanto ao aumento da circularidade de sementes de amendoim verifica-se que o mesmo possui uma relação direta, porém lenta, com o teor de água das sementes, indicando que a velocidade da dessorção é maior que a velocidade da adsorção, já que os valores aos 90 e 120 dias ficaram próximos ao valor da implantação. Provavelmente essa menor velocidade na adsorção seja devido ao alto teor de gordura (lipídeos) presentes na constituição das sementes de amendoim. BROOKER et al. (1992) relata que grãos com elevado teor de óleo adsorvem (ganham) menor quantidade de água do ambiente do que grãos com alto teor de amido. Assim, verifica-se que, as sementes de amendoim quando armazenadas, necessitam de maior tempo para atingirem sua condição de equilíbrio comparada a outros produtos agrícolas. À medida que a umidade relativa aumentou, observa-se que os valores da circularidade se mantiveram próximos do valor da implantação. Mesmo com o aumento de suas dimensões e de seu volume as sementes de amendoim tende a manter sua circularidade, o que pode ser explicado pela falta de uniformidade do amendoim, onde mesmo com o aumento de alguns eixos a circularidade não se altera.

Observa-se, Tabela 1.5, que o modelo cúbico não foi satisfatório na predição dos dados experimentais da circularidade de sementes de amendoim, para as condições estudadas, devido a baixos coeficientes de determinação, maiores erros relativos e distribuição tendenciosa dos resíduos, que pode ser justificado pela complexidade dos dados

experimentais, demandando assim modelos matemáticos mais complexos Figura A4 do apêndice.

Circularidade das sementes de amendoim

$$C_k = 66,4130 - 0,2097 UR - 0,2097 t + 0,0021 t^2 + 0,00217 t UR + 0,0030 UR^2 - 0,00006 t^3 - 0,000012 UR^3 - 0,000014 t UR^2 - 0,000006 t^2 UR \quad R^2 = 32,55\%$$

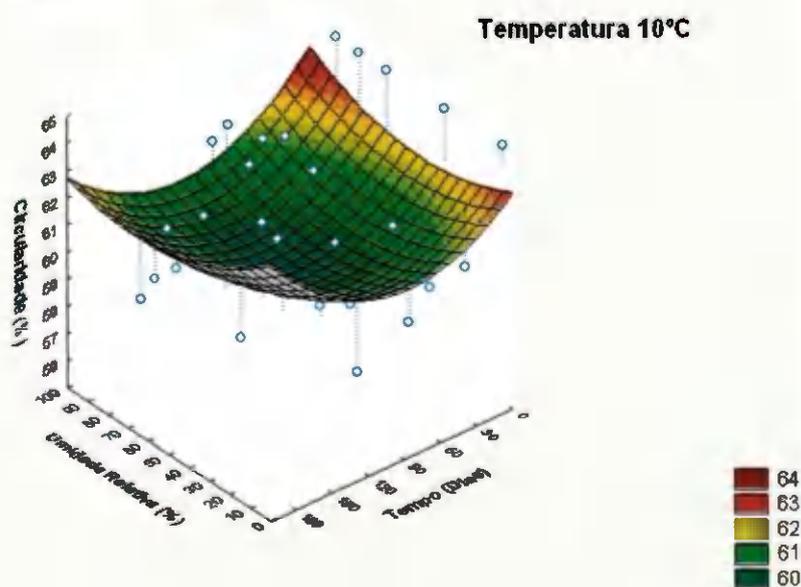


Figura 1.15 Circularidade das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 10°C.

Circularidade das sementes de amendoim

$$C_{ir} = 65,9930 - 0,18003 UR - 0,18003 t + 0,0023 t^2 + 0,00228 t UR + 0,0027 UR^2 - 0,000008 t^3 - 0,00001 UR^3 - 0,000024 t UR^2 - 0,000005 t^2 UR \quad R^2 = 51,58\%$$

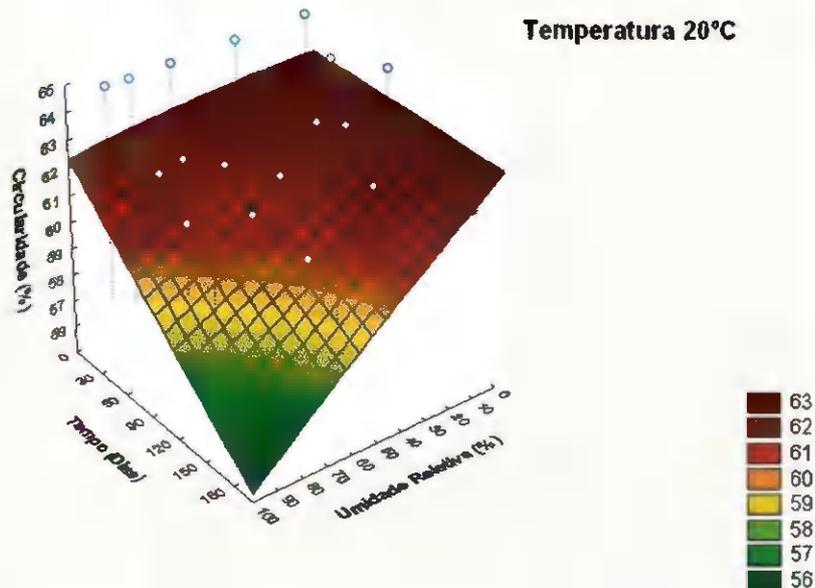


Figura 1.16 Circularidade das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 20°C.

Circularidade das sementes de amendoim

$$C_{ir} = 66,5365 - 0,2426 UR - 0,2426 t + 0,0023 t^2 + 0,0035 t UR + 0,0044 UR^2 - 0,000007 t^3 - 0,00002 UR^3 - 0,000022 t UR^2 - 0,000013 t^2 UR \quad R^2 = 34,5\%$$

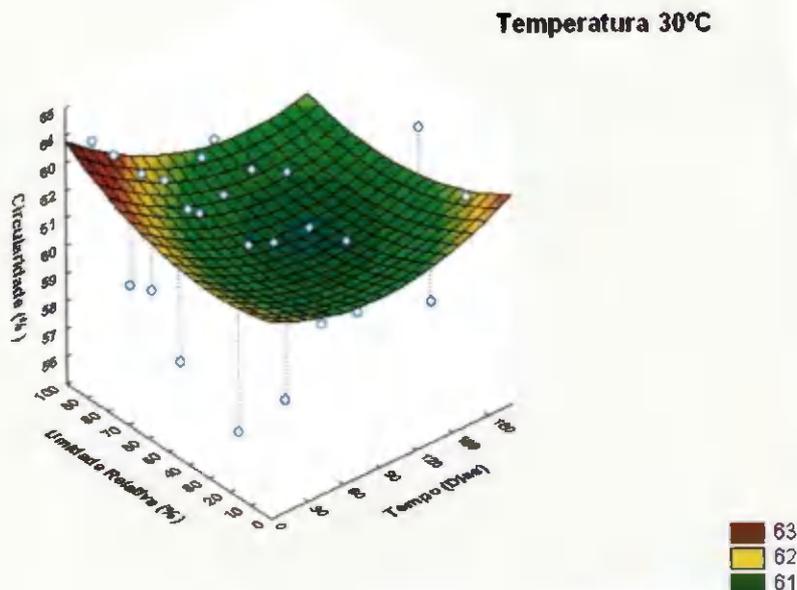


Figura 1.17 Circularidade das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 30°C.

Circularidade das sementes de amendoim

$$C_{ir} = 66,5385 - 0,2426 UR - 0,2426 t + 0,0023 t^2 + 0,0035 t UR + 0,0044 UR^2 - 0,000007 t^3 - 0,00002 UR^3 - 0,000022 t UR^2 - 0,000013 t^2 UR \quad R^2 = 34,5\%$$

Temperatura 30°C

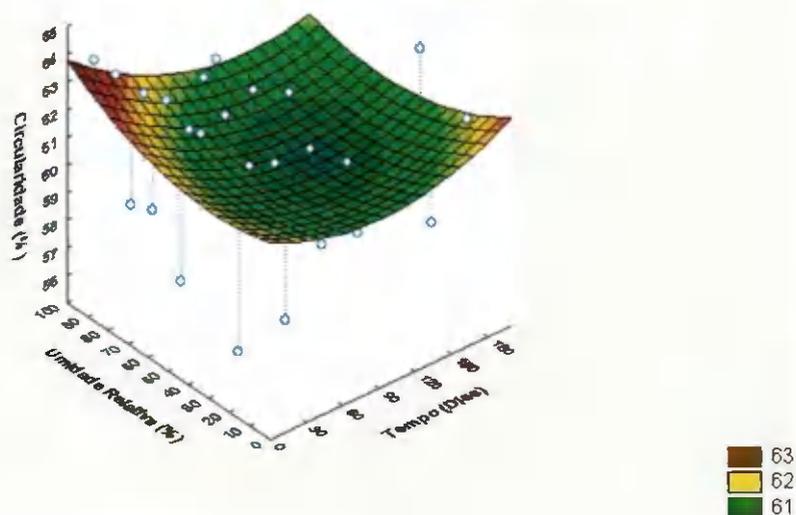


Figura 1.17 Circularidade das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 30°C.

Circularidade das sementes de amendoim

$$C_{ir} = 64,9496 - 0,1188 UR - 0,1188 t + 0,0015 t^2 + 0,00091 t UR + 0,0017 UR^2 - 0,000006 t^3 - 0,000006 UR^3 - 0,000015 t UR^2 - 0,000002 t^2 UR \quad R^2 = 30,94\%$$

Temperatura 40°C

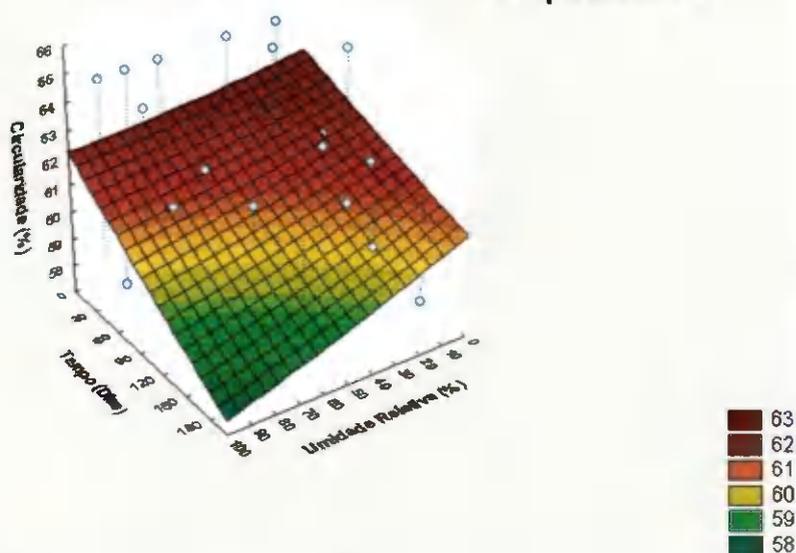


Figura 1.18 Circularidade das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 40°C.

Tabela 1.5. Coeficientes de determinação (R^2), erros relativos (P) e tendência de distribuição de resíduos do modelo cúbico da circularidade de sementes de amendoim armazenadas por 06 meses sob condições controladas de temperatura (10, 20, 30 e 40°C) e umidade relativa do ar (10, 30, 50, 70 e 90%).

Temperatura (°C)	R^2 (%)	P (%)	Tendência
10	32,55	2,71	Tendenciosa
20	51,58	2,36	Tendenciosa
30	34,5	2,67	Tendenciosa
40	30,94	2,68	Tendenciosa

Na Figura 1.19, verifica-se que, a esfericidade diminui à medida que ocorre redução na umidade relativa, onde se observa reduções de 13,3% da esfericidade comparada ao valor inicial, aos 30 dias de armazenamento. Entre as umidades relativas de 5,4 e 86,77%, os valores da esfericidade do amendoim foram entre 58,03 e 65,49%. SANTANA & BRAGA (1999), estudando parâmetros aerodinâmicos do amendoim observaram que os valores da esfericidade foram entre 53% e 73%. Ainda na mesma figura, observa-se que a esfericidade do amendoim é diretamente proporcional a elevação da umidade relativa, em função da saturação do ar por vapor de água, e conseqüentemente ao aumento do teor de água CAVALCANTI MATA (1997). Porém, o tempo de adsorção (hidratação) das sementes é maior do que o tempo da dessorção (desidratação), ou seja, a semente perde água para o meio de forma mais rápida, quando comparado ao ganho de água do meio para suas estruturas. Esse fenômeno pode ser devido ao alto teor de óleo presente nas sementes de amendoim, diminuindo assim a mobilidade da água nas suas estruturas. Outro fator que deve ser considerado é a falta de uniformidade nas sementes de amendoim, onde as sementes podem sofrer variações no seu teor de água sem que afete todos os seus eixos e dimensões.

Verifica-se que aos 30 dias de armazenamento houve um aumento do comprimento das sementes para todas as condições de umidade relativa e temperatura estudadas (Tabela 1.11), e conseqüentemente diminuição da esfericidade das sementes de amendoim. Verificou-se na umidade relativa de 5,4 %, o comprimento do amendoim aumentou 14% e a esfericidade diminuiu 6%. Resultados semelhantes foram obtidos por SANTANA & BRAGA (1999) que ao estudarem parâmetros aerodinâmicos do amendoim observaram que à medida que cresce o comprimento, diminui a esfericidade do produto. Fenômeno inverso ocorreu aos 90 dias, na

umidade relativa de 5,4%, que houve uma diminuição no comprimento das sementes e aumento da esfericidade. Comportamento semelhante para a esfericidade do amendoim pode ser observado na Figura 1.21, temperatura de 30°C.

Na Figura 1.20, observa-se que entre as umidades relativas de 10 e 83%, os valores de esfericidade oscilaram entre 58,86 e 66,64%, que equivale a uma variação de 11,7% nos valores da esfericidade. Observa-se que essa esfericidade aumenta à medida que a umidade relativa se eleva. Provavelmente, essa elevação ocorra devido à maior quantidade de vapor de água nas altas umidades relativas, provocando aumento no teor de água do produto. RESENDE et al. (2005) observou que a esfericidade de grãos de feijão aumenta com a redução do teor de água.

Observa-se, na Figura 1.22, que o maior valor de esfericidade obtido durante o armazenamento de sementes de amendoim sob condições controladas foi de 67,86%, que corresponde a um aumento de 1,4%. Para a esfericidade, podemos observar que, quanto mais distante do valor de 1,0 as sementes não se aproximam de uma esfera. Nesse sentido observa-se que a esfericidade do amendoim é diretamente proporcional a umidade relativa do ar em função do tempo de armazenamento, levando-se em consideração sua composição química e sua desuniformidade geométrica.

Esfericidade das sementes de amendoim

$$E_{ef} = 68,6308 - 0,2447 UR - 0,2447 t + 0,0025 t^2 + 0,0021 t UR + 0,0044 UR^2 - 0,000007 t^3 - 0,000023 UR^3 - 0,000012 t UR^2 - 0,000007 t^2 UR \quad R^2 = 32,78\%$$

Temperatura 10°C

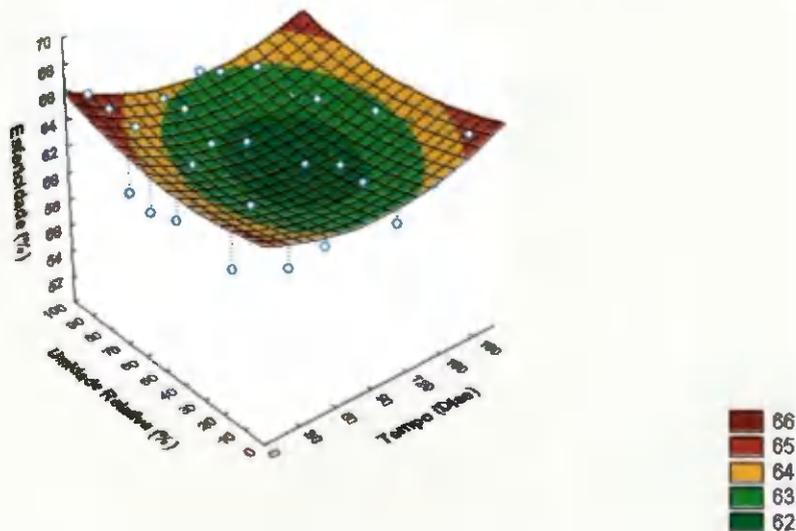


Figura 1.19 Esfericidade das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 10°C.

Esfericidade das sementes de amendoim

$$E_{ef} = 69,1864 - 0,2040 UR - 0,2040 t + 0,0023 t^2 + 0,0030 t UR + 0,0027 UR^2 - 0,000008 t^3 - 0,000007 UR^3 - 0,000029 t UR^2 - 0,000007 t^2 UR \quad R^2 = 53,45\%$$

Temperatura 20°C

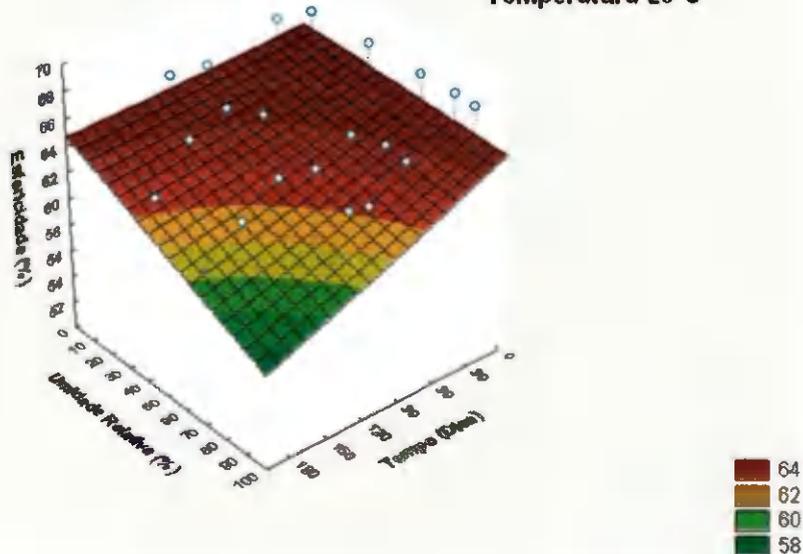


Figura 1.20 Esfericidade das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 20°C.

Esfericidade das sementes de amendoim

$$E_{sf} = 67,6431 - 0,1488 UR - 0,1488 t + 0,0021 t^2 - 0,00018 t UR + 0,0029 UR^2 - 0,000007 t^3 - 0,000017 UR^3 - 0,000001 t UR^2 \quad R^2 = 29,9\%$$

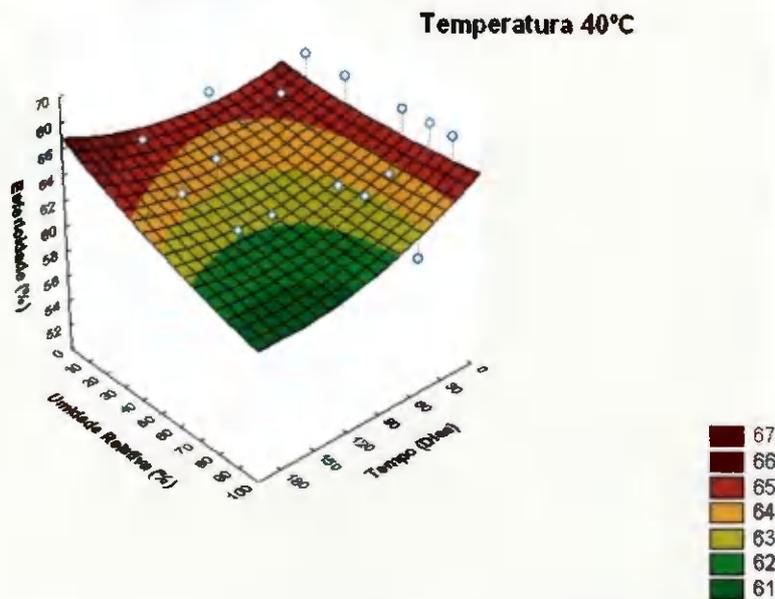


Figura 1.22 Esfericidade das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 40°C.

Observa-se, Tabela 1.6, que o modelo cúbico não foi satisfatório na predição dos dados experimentais da esfericidade de sementes de amendoim, para as condições estudadas, devido a baixos coeficientes de determinação, maiores erros relativos e distribuição tendenciosa dos resíduos, que pode ser justificado pela complexidade dos dados experimentais, demandando assim modelos matemáticos mais complexos, Figura 5A do apêndice.

Tabela 1.6. Coeficientes de determinação (R^2), erros relativos (P) e tendência de distribuição de resíduos do modelo cúbico da esfericidade real de sementes de amendoim armazenadas por 06 meses sob condições controladas de temperatura (10, 20, 30 e 40°C) e umidade relativa do ar (10, 30, 50, 70 e 90%).

Temperatura (°C)	R^2 (%)	P (%)	Tendência
10	32,78	2,98	Tendenciosa
20	53,45	2,32	Tendenciosa
30	40,67	2,79	Tendenciosa
40	29,9	2,81	Tendenciosa

Observa-se, Tabela 1.6, que o modelo cúbico não foi satisfatório na predição dos dados experimentais da esfericidade de sementes de amendoim, para as condições estudadas, devido a baixos coeficientes de determinação, maiores erros relativos e distribuição tendenciosa dos resíduos, que pode ser justificado pela complexidade dos dados experimentais, demandando assim modelos matemáticos mais complexos, Figura 5A do apêndice.

Tabela 1.6. Coeficientes de determinação (R^2), erros relativos (P) e tendência de distribuição de resíduos do modelo cúbico da esfericidade real de sementes de amendoim armazenadas por 06 meses sob condições controladas de temperatura (10, 20, 30 e 40°C) e umidade relativa do ar (10, 30, 50, 70 e 90%).

Temperatura (°C)	R^2 (%)	P (%)	Tendência
10	32,78	2,98	Tendenciosa
20	53,45	2,32	Tendenciosa
30	40,67	2,79	Tendenciosa
40	29,9	2,81	Tendenciosa

4.5 Volume

Os resultados das médias do volume referente ao tempo de armazenamento (6 meses), umidade relativa (10, 30, 50, 70 e 90%) e temperatura (10, 20, 30 e 40°C), para as sementes de amendoim, se encontram na Tabela A6 do apêndice.

Nas Figuras 1.23, 1.24, 1.25 e 1.26 encontram-se os resultados experimentais obtidos através de análise de regressão não linear do volume das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento, para as temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C, respectivamente. Observa-se nas mesmas figuras que a curva da superfície de resposta do volume das semente do amendoim, tende a sofrer menores variações com o aumento da temperatura de armazenamento.

Observa-se na Figura 1.23, que o volume das sementes de amendoim varia para as umidades relativas entre 5,4 e 86,77%, com valores entre 417,47 e 627,32, que corresponde a 14,5 e 28,4% de redução e aumento respectivamente, durante o período de armazenamento. Na mesma faixa de umidade relativa, aos 30 dias, verifica-se que os valores do volume

variaram entre 538,66 a 585,61 mm³. Comportamento este que pode ser explicado devido à variação das dimensões dos eixos ortogonais, que nessas condições, variaram entre 17% para o maior eixo, 2,62% para o eixo médio e 3,19% para o menor eixo.

Na 10°C de temperatura, o maior aumento no volume das sementes ocorreu na umidade relativa de 86,77%, aos 120 dias de armazenamento, com valor de 619,15 mm³, que representa um aumento de 27% no volume das sementes, com relação ao valor inicial. Devido à alta umidade relativa de armazenamento para as condições citadas, o aumento do teor de água foi de 100%, quando comparado ao valor da implantação, justificando assim o aumento do volume das sementes de amendoim para essas condições. Na umidade relativa de 86,77% ocorreu um aumento das dimensões de 16,05% para o maior eixo, 4,68% para o eixo médio e 4,92% para o menor eixo, com relação ao valor inicial. NEVES et al. (2009), estudando a variação morfológica geométrica do algodão e soja verificou que o volume aumentou com o acréscimo do teor de água das sementes. O mesmo explica que isso ocorreu em consequência dos constituintes celulares absorverem mais água à medida que o teor de água se elevou, ocorrendo a expansão da semente aumentando assim, seu volume. Em baixos teores de água, condição esta observada em baixas umidades relativas, o volume da matriz sólida das sementes sofre alterações com relação à umidade, de modo que suas medidas tendem a diminuir com a remoção de água ou aumentar com o processo de umedecimento (PRADO & SARTORI, 2002). Para mesma condição de temperatura, na umidade relativa de 5,4% houve uma redução de 14,52% no volume das sementes de amendoim, aos 180 dias de armazenamento, sendo esse denominado de contração (encolhimento), fenômeno inverso ao comportamento observado na expansão. Devido a baixa umidade relativa do ar a semente cedeu água para o ambiente de armazenamento, tendo conseqüentemente uma redução no seu volume, antes ocupado por água, agora vazio e ocupado pela composição química da própria semente.

Na Figura 1.24, observa-se que umidades relativas do ar entre 4,1 e 85,11% houve uma variação dos valores de volume da semente de amendoim entre 444,89 e 657,73mm³, que corresponde a uma variação de 32,35% durante os 180 dias de armazenamento. Para a condição de umidade relativa de 33,07%, houve uma diminuição de 8,9% do volume das sementes de amendoim, no decorrer do armazenamento. Provavelmente, essa redução ocorreu devido a redução do teor de água, indicando que houve desidratação das sementes de amendoim. As mudanças volumétricas dos produtos, devido a sua desidratação são relatadas

como sendo as principais causas das alterações das propriedades físicas de grãos agrícolas (RATTI, 1994; SOKHANSANJ & LANG 1996).

Verifica-se que o volume do amendoim para todas as condições de temperatura e umidade relativa estudadas obteve o seguinte comportamento: aos 30 dias houve um aumento do volume; entre 60 e 120 dias houve um comportamento de uniformização do volume; finalizando com uma diminuição do volume aos 150 e 180 dias de armazenamento. Esse comportamento pode ser explicado devido a alguns fatores como: aumento do teor de água; aumento das dimensões; falta de uniformidade geométrica e composição química do produto.

Na Figura 1.25, observa-se na umidade relativa de 83,62% a maior variação do volume das sementes de amendoim no decorrer do armazenamento com o valor de $626,24\text{mm}^3$. Para mesma condição observa-se um aumento nas dimensões da semente de amendoim que foi de 18,2% para o maior eixo, 3,08% para o eixo médio e 5,53% para o menor eixo. A contração volumétrica de produtos vegetais, durante a secagem, não é função exclusiva do teor de água, mas também, dependente das condições do processo e da geometria do produto, uma vez que materiais biológicos porosos quando desidratados contraem-se diferentemente nas direções longitudinal, tangencial e radial (FORTES & OKOS, 1980; CAVALCANTI MATA et al., 1986).

Observa-se na temperatura de 40°C , Figura 1.26, que o volume das sementes de amendoim obteve o mesmo comportamento das demais temperaturas, obtendo um aumento de 27%, na condição de 82,32% de umidade relativa, aos 60 dias de armazenamento e uma variação dos eixos ortogonais de 11,82% para o maior eixo, 9,7% para o eixo médio e 3,56% para o menor eixo. Observa-se na umidade relativa de 12,5%, que aos 180 dias, houve uma diminuição de 5,1% no volume, com relação ao valor da implantação e uma variação dos eixos ortogonais onde o maior eixo aumentou 3,22%, enquanto que os eixos médios e menor eixo diminuíram 2,28 e 5,04% respectivamente. Observa-se que mesmo com o aumento do comprimento da semente, em baixa umidade relativa, houve diminuição do volume das sementes de amendoim ao longo do período de armazenamento

Assim, verifica-se que, o volume das sementes de amendoim possui uma correlação direta com a umidade relativa do ar, em função do tempo de armazenamento. À medida que a umidade relativa se eleva (maior quantidade de vapor de água) ocorre o processo de hidratação da semente e conseqüentemente o aumento do teor de água do produto, ocorrendo assim a expansão volumétrica das sementes, devido à ocupação dos espaços, antes ocupados

pela composição química do produto, agora preenchido por um determinado volume de água. Neste sentido são necessários modelos matemáticos que determinem o fenômeno físico de expansão volumétrica de produtos agrícolas em determinadas temperatura e umidades relativa. O fenômeno inverso é relatado por BROOKER et al., (1992), onde os modelos empregados para representar etapas do processamento dos produtos agrícolas, na sua grande maioria, foram desenvolvidos, negligenciando-se a contração volumétrica do produto durante o processo de desidratação.

Volume da semente de amendoim

$$V_s = 506,3677 + 0,5810 UR + 0,5810 t - 0,00487 t^2 + 0,01722 t UR - 0,02997 UR^2 - 0,000008 t^3 + 0,000255 UR^3 - 0,000028 t UR^2 - 0,000055 t^2 UR \quad R^2 = 55,2 \%$$

Temperatura 10°C

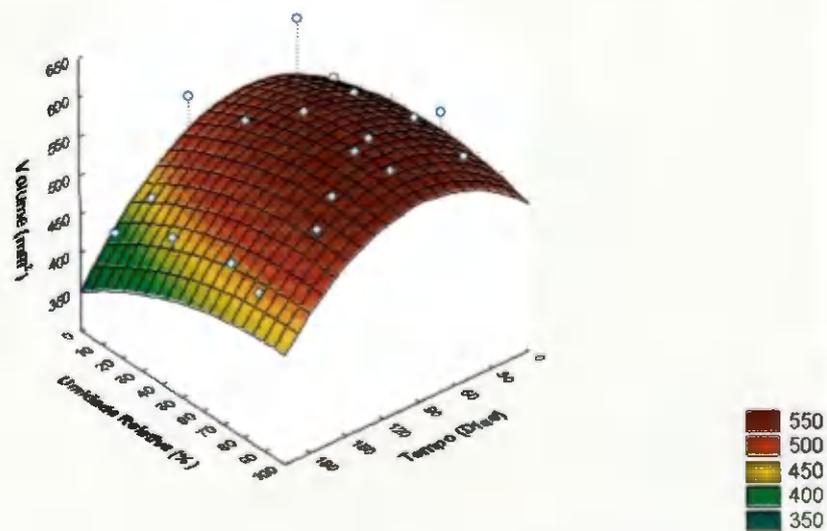


Figura 1.23 Volume das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 10°C.

Volume da semente de amendoim

$$V_s = 477,3333 + 2,4242 UR + 2,4242 t - 0,0234 t^2 - 0,0163 t UR - 0,0709 UR^2 + 0,000049 t^3 + 0,00054 UR^3 + 0,00203 t UR^2 - 0,000043 t^2 UR \quad R^2 = 75,5 \%$$

Temperatura 20°C

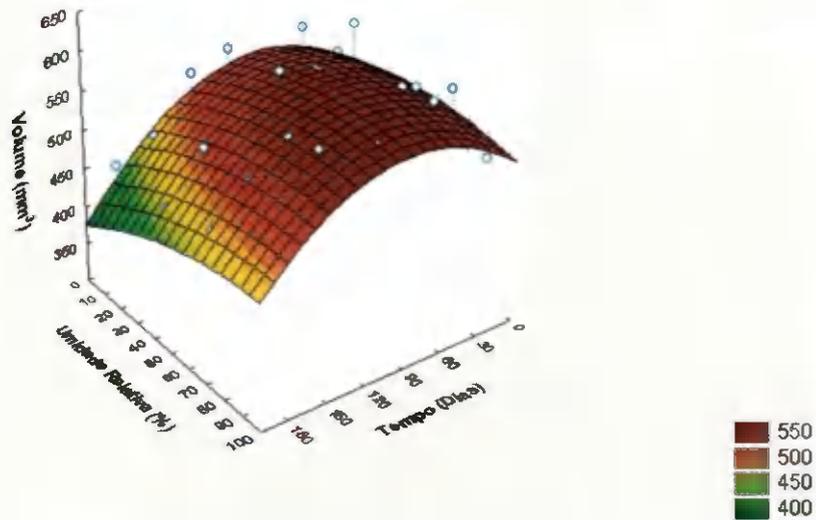


Figura 1.24 Volume das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 20°C.

Volume da semente de amendoim

$$V_s = 486,5414 + 1,7369 UR + 1,7369 t - 0,0195 t^2 - 0,0042 t UR - 0,0578 UR^2 + 0,000045 t^3 + 0,00049 UR^3 + 0,000025 t UR^2 + 0,000052 t^2 UR \quad R^2 = 42,9 \%$$

Temperatura 30°C

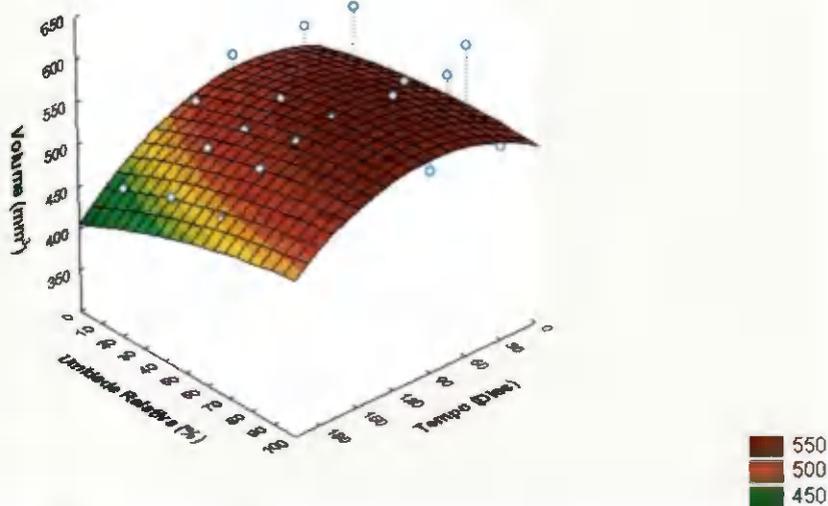


Figura 1.25 Volume das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 30°C.

Volume da semente de amendoim

$$V_s = 486,6278 + 2,0070 UR + 2,0070 t - 0,0252 t^2 - 0,0201 t UR - 0,0618 UR^2 + 0,00008 t^3 + 0,00048 UR^3 + 0,00031 t UR^2 + 0,000018 t^2 UR \quad R^2 = 50 \%$$

Temperatura 40°C

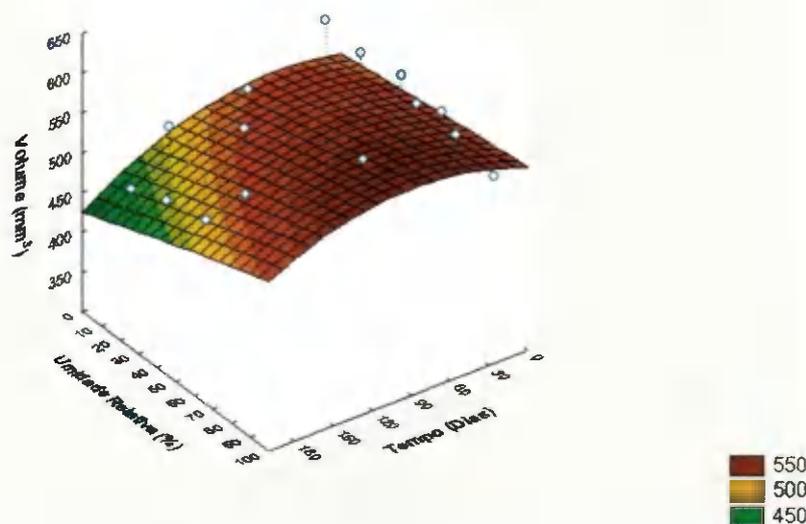


Figura 1.26 Volume das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 40°C.

Observa-se, Tabela 1.7, que o modelo cúbico não foi satisfatório na predição dos dados experimentais do volume das sementes de amendoim, para as condições estudadas, devido a baixos coeficientes de determinação, maiores erros relativos e distribuição tendenciosa dos resíduos, que pode ser justificado pela complexidade dos dados experimentais, demandando assim modelos matemáticos mais complexos, Figura 6A do apêndice.

Tabela 1.7 Coeficientes de determinação (R^2), erros relativos (P) e tendência de distribuição de resíduos do modelo cúbico do volume das sementes de amendoim armazenadas por 06 meses sob condições controladas de temperatura (10, 20, 30 e 40°C) e umidade relativa do ar (10, 30, 50, 70 e 90%).

Temperatura (°C)	R^2 (%)	P (%)	Tendência
10	55,2	5,13	Tendenciosa
20	75,5	3,21	Aleatória
30	42,9	4,62	Tendenciosa
40	50	4,44	Tendenciosa

4.6 Área projetada

Os resultados das médias da área projetada referente ao tempo de armazenamento (6 meses), umidade relativa (10, 30, 50, 70 e 90%) e temperatura (10, 20, 30 e 40°C), para as sementes de amendoim, se encontram na Tabela A7 do apêndice.

Nas Figuras 1.27, 1.28, 1.29 e 1.30 encontram-se os resultados experimentais obtidos através de análise de regressão não linear da área projetada das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento, para as temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C, respectivamente.

Observa-se entre as Figuras 1.27 e 1.30, que entre as umidades relativas estudadas, em função do tempo de armazenamento, a área projetada das sementes de amendoim oscilaram entre os valores de 81,97 e 111,48mm², que corresponde a uma diminuição de 4,95% e um aumento de 29,26%, respectivamente. Provavelmente, existe uma relação direta da área projetada das sementes de amendoim com a umidade relativa do ar e com o teor de água das sementes. Relação essa confirmada a partir da expansão das dimensões das sementes na umidade relativa de 85,11%, onde o maior eixo, eixo médio e eixo menor, obtiveram aumento de 21,8%, 6,27% e 4,92%, respectivamente. Nas mesmas figuras verifica-se que os maiores valores de área projetada ocorreram nas condições de alta umidade relativa, o que se justifica pelo alto teor de vapor de água do ambiente, havendo absorção de água pela semente, expansão de suas dimensões e, conseqüentemente, aumento de suas área. Observa-se que o menor valor de área projetada ocorreu na umidade relativa de 5,4%, aos 180 dias de armazenamento, ou seja, um ambiente seco, que ocasionou uma redução de 5% da área projetada com relação ao valor da implantação. Nesse momento observa-se uma redução nas dimensões de 4,09%, 4,9% e 8,73% para o maior eixo, eixo médio e menor eixo, respectivamente. Nesse momento verifica-se que a semente passou por um processo de dessecção, ou seja, perda de água para o meio e conseqüentemente redução de suas dimensões, volume e área projetada. ZANINI et al. (2008), determinando a influência da forma e tamanho na obtenção dos parâmetros aerodinâmicos, verificaram que o feijão e milho apresentaram 50 e 73mm², respectivamente para o valor de área projetada.

Observa-se que o comportamento da área projetada das sementes de amendoim possui uma relação direta com seu volume, que em função da umidade relativa e temperatura de armazenamento, pode sofrer um processo de adsorção (ganho de água) ou dessecção (perda de

água). As bases teóricas para o conhecimento do processo de contração volumétrica envolvem complexas leis mecânicas e de deformação de materiais (TOWNER, 1987); no entanto, muitos pesquisadores utilizam aproximações e modelos empíricos, na tentativa de melhor representarem este complicado fenômeno em produtos de natureza biológica (AFONSO JÚNIOR et al., 2000; MAYOR & SERENO, 2004).

Área projetada das sementes de amendoim

$$A_p = 87,3174 + 0,2605 UR + 0,2605 t - 0,002687 t^2 + 0,00094 t UR - 0,00808 UR^2 + 0,000006 t^3 + 0,000061 UR^3 - 0,000001 t UR^2 - 0,000001 t^2 UR \quad R^2 = 48,67\%$$

Temperatura 10°C

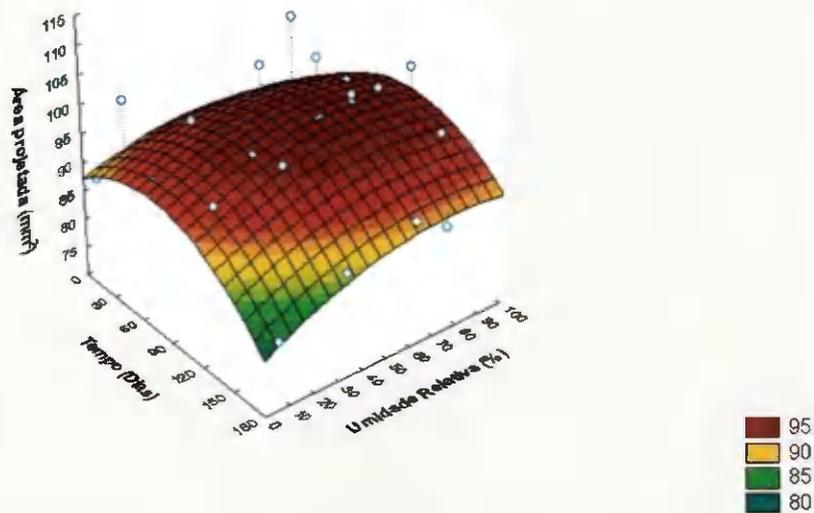


Figura 1.27 Área projetada das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 10°C.

Área projetada das sementes de amendoim

$$A_p = 84,2823 + 0,4228 UR + 0,4228 t - 0,00377 t^2 - 0,00257 t UR - 0,01159 UR^2 + 0,000008 t^3 + 0,000086 UR^3 + 0,000027 t UR^2 + 0,000008 t^2 UR \quad R^2 = 73,74\%$$

Temperatura 20°C

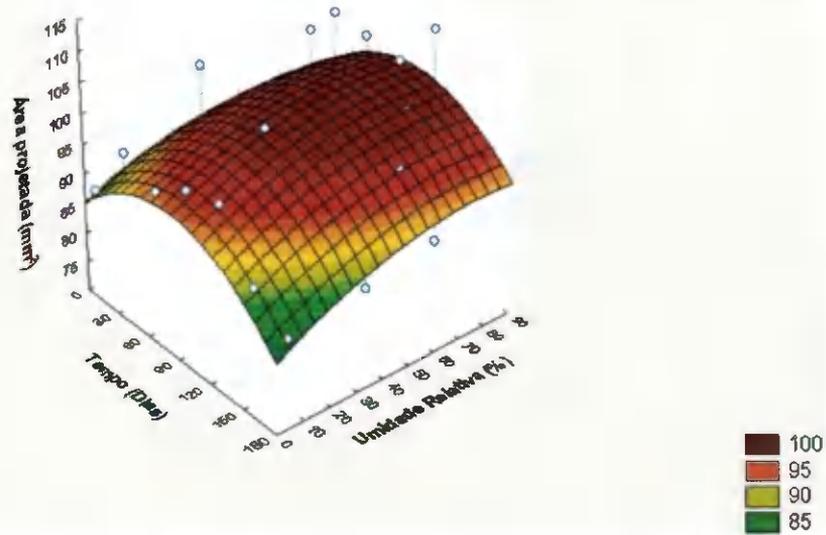


Figura 1.28 Área projetada das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 20°C.

Área projetada das sementes de amendoim

$$A_p = 85,9617 + 0,3828 UR + 0,3828 t - 0,003994 t^2 - 0,00102 t UR - 0,01212 UR^2 + 0,00001 t^3 + 0,000097 UR^3 + 0,000015 t UR^2 + 0,000005 t^2 UR \quad R^2 = 49,1\%$$

Temperatura 30°C

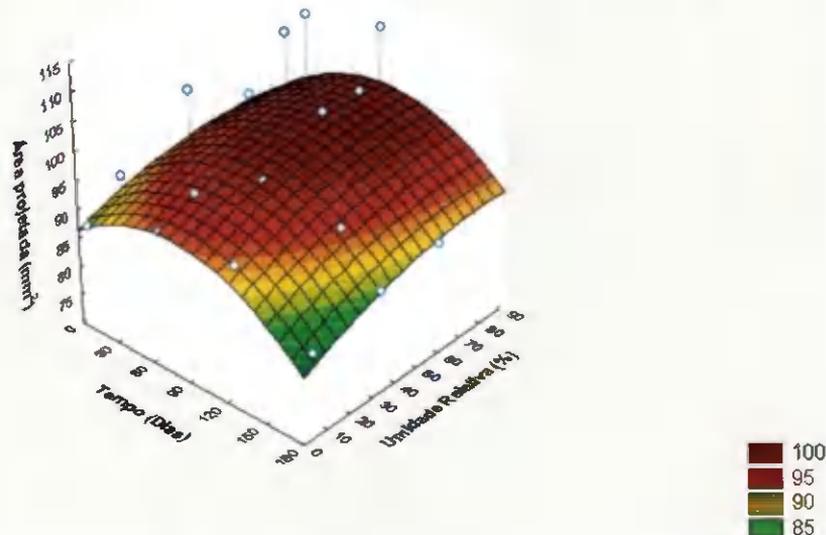


Figura 1.29 Área projetada das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 30°C.

Área projetada das sementes de amendoim

$$A_p = 87,0446 + 0,4072 UR + 0,4072 t - 0,005002 t^2 - 0,001744 t UR - 0,01313 UR^2 + 0,000016 t^3 + 0,000103 UR^3 + 0,000033 t UR^2 \quad R^2 = 52,84\%$$

Temperatura 40°C

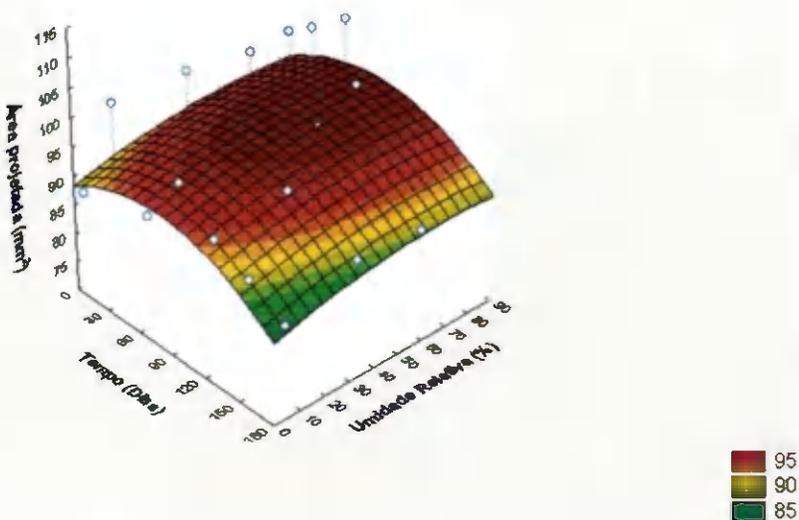


Figura 1.30 Área projetada das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 40°C.

Observa-se, Tabela 1.8, que o modelo cúbico não foi satisfatório na predição dos dados experimentais da área projetada de sementes de amendoim, para as condições estudadas, devido a baixos coeficientes de determinação, maiores erros relativos e distribuição tendenciosa dos resíduos, que pode ser justificado pela complexidade dos dados experimentais, demandando assim modelos matemáticos mais complexos, Figura 7A do apêndice.

Tabela 1.8 Coeficientes de determinação (R^2), erros relativos (P) e tendência de distribuição de resíduos do modelo cúbico da área projetada de sementes de amendoim armazenadas por 06 meses sob condições controladas de temperatura (10, 20, 30 e 40°C) e umidade relativa do ar (10, 30, 50, 70 e 90%).

Temperatura (°C)	R^2 (%)	P (%)	Tendência
10	48,67	3,75	Tendenciosa
20	73,74	2,76	Aleatória
30	49,01	4,2	Tendenciosa
40	52,84	3,65	Tendenciosa

4.8. Massa de mil sementes

Os resultados das médias da massa de mil sementes referente ao tempo de armazenamento (6 meses), umidade relativa (10, 30, 50, 70 e 90%) e temperatura (10, 20, 30 e 40°C), para as sementes de amendoim, se encontram na Tabela A8 do apêndice.

Nas Figuras 1.31, 1.32, 1.33 e 1.34 encontram-se os resultados experimentais obtidos através de análise de regressão não linear da massa de mil sementes das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento, para as temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C, respectivamente.

Observa-se, entre as Figuras 1.31 e 1.34, que a massa de mil sementes oscilou no decorrer do armazenamento em função do teor de água e da umidade relativa. A maior variação da massa de mil sementes ocorreu aos 60 dias de armazenamento, na umidade relativa de 82,32%, com o valor de 564,20g. Nessa mesma condição, verificou-se que o teor de água aumentou 16%, comparados ao valor da implantação. Comportamento este devido à alta umidade relativa (elevada quantidade de vapor de água no ambiente), provocando elevação no teor de água e conseqüentemente aumento da massa de mil sementes para essas condições. De acordo com TICELLI (2001) a massa de mil sementes de amendoim é também função do volume das sementes, onde a semente com maior massa normalmente apresenta maior volume e vice-versa.

Observou-se que o menor valor para massa de mil sementes foi de 420,61g, aos 150 dias de armazenamento, na umidade relativa de 10%, que corresponde a uma redução de 8,5% da massa de mil sementes, com relação ao valor inicial. Provavelmente, a semente cedeu água para o meio, onde os espaços antes ocupados por água ficaram vazios, justificando a diminuição da massa de mil sementes de amendoim, comparados com o valor da implantação. TICELLI (2001) verificou que a massa de mil sementes de amendoim foi de 370g, ao atingirem seu ponto de maturidade fisiológica. Em estudos realizados FURLANI (2009) observou que, a massa de mil sementes de amendoim variou entre 411,9 e 532,3g para o lote de baixo vigor e alto vigor, respectivamente.

Assim, observa-se que a massa de mil sementes de amendoim possui uma relação direta com o volume das sementes, que por sua vez possui uma relação direta com a umidade relativa e conseqüentemente com o teor de água. VANZOLINI et al. (2000) observaram que, com relação à massa de mil sementes de amendoim, quanto maior o tamanho ou a densidade

das sementes, maior será o valor da massa, onde o mesmo está correlacionado positivamente com a qualidade das sementes, principalmente quanto à densidade destas. A massa de mil sementes possui uma relação direta na aquisição das sementes tendo como base a determinação das quantidades necessárias para se realizar a semeadura de uma determinada área.

Massa de mil sementes de amendoim

$$M_{1000} = 453,5761 + 1,1343 UR + 1,1343 t - 0,0048 t^2 + 0,0067 t UR - 0,0054 UR^2 + 0,000018 t^3 + 0,000044 UR^3 - 0,000031 t UR^2 - 0,000009 t^2 UR \quad R^2 = 58,05\%$$

Temperatura 10°C

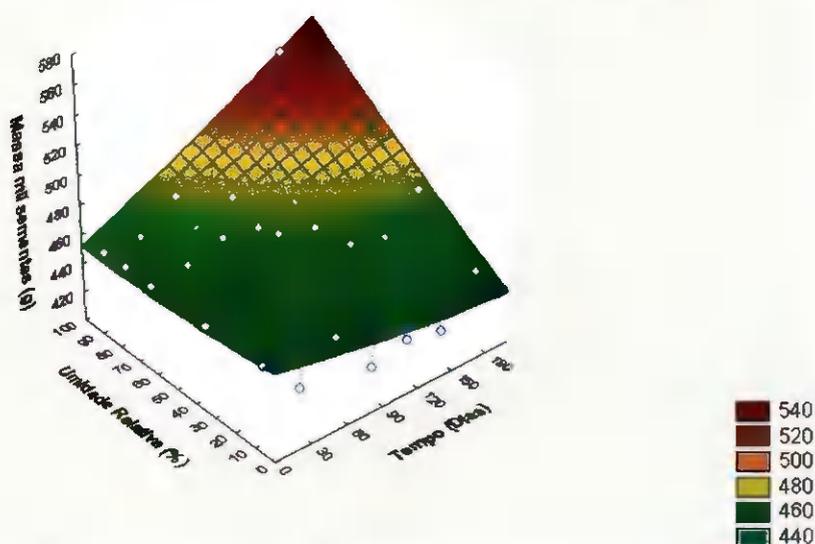


Figura 1.31 Massa de mil sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 10°C.

Massa de mil sementes de amendoim

$$M_{1000} = 465,8259 - 0,7378 UR - 0,7378 t + 0,0057 t^2 + 0,0247 t UR - 0,0040 UR^2 - 0,000012 t^3 + 0,00016 UR^3 - 0,00011 t UR^2 - 0,000067 t^2 UR \quad R^2 = 64,83\%$$

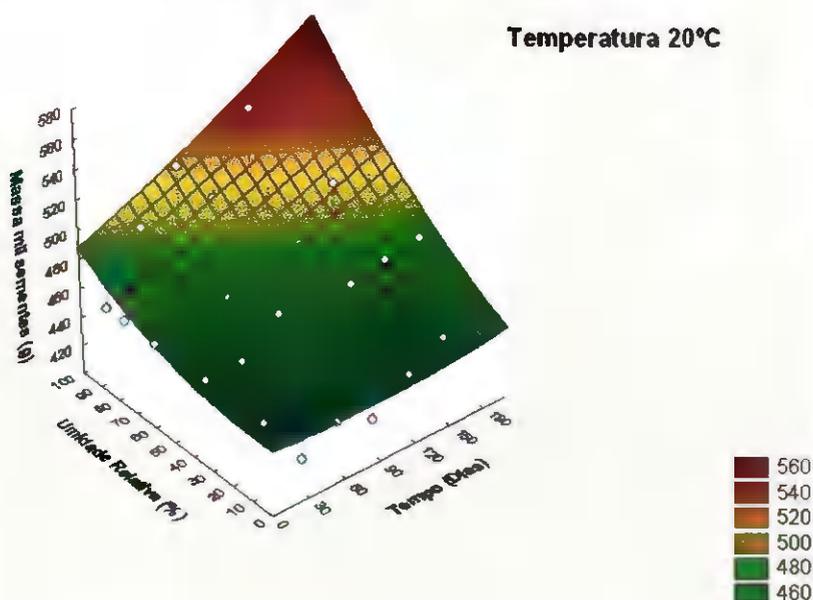


Figura 1.32 Massa de mil sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 20°C.

Massa de mil sementes de amendoim

$$M_{1000} = 465,8259 - 0,0510 UR - 0,0510 t - 0,0048 t^2 + 0,00901 t UR - 0,0196 UR^2 + 0,000031 t^3 + 0,00026 UR^3 + 0,000061 t UR^2 - 0,000064 t^2 UR \quad R^2 = 68,14\%$$

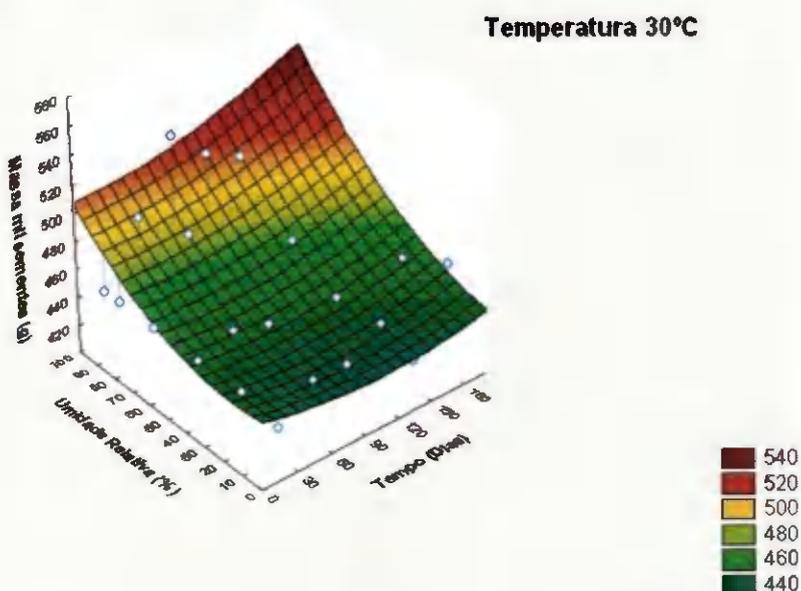


Figura 1.33 Massa de mil sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 30°C.

Massa de mil sementes de amendoim

$$M_{1000} = 461,7578 + 0,3124 UR + 0,3124 t - 0,0086 t^2 + 0,0155 t UR - 0,0404 UR^2 + 0,000039 t^3 + 0,00047 UR^3 - 0,000024 t UR^2 - 0,00007 t^2 UR \quad R^2 = 62,87\%$$

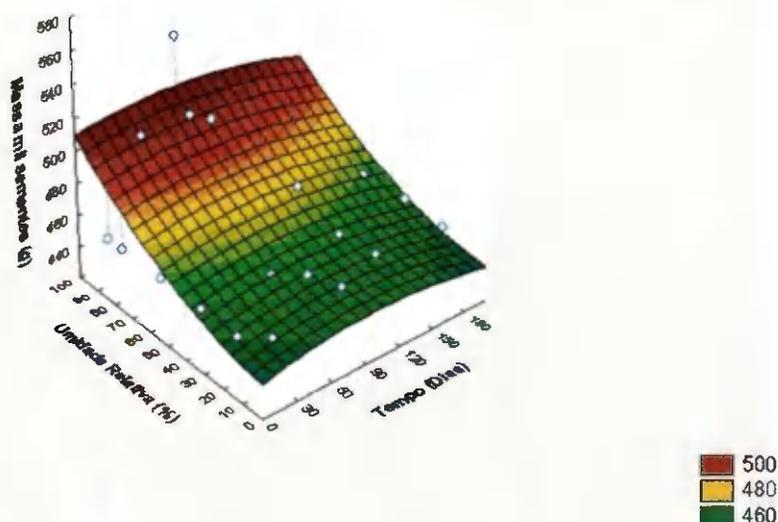
Temperatura 40°C

Figura 1.34 Massa de mil sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 40°C.

Observa-se, Tabela 1.9, que o modelo cúbico não foi satisfatório na predição dos dados experimentais da massa de mil sementes de amendoim, para as condições estudadas, devido a baixos coeficientes de determinação, maiores erros relativos e distribuição tendenciosa dos resíduos, que pode ser justificado pela complexidade dos dados experimentais, demandando assim modelos matemáticos mais complexos, Figura 8A do apêndice.

Tabela 1.9 Coeficientes de determinação (R^2), erros relativos (P) e tendência de distribuição de resíduos do modelo cúbico da massa de mil sementes de amendoim armazenadas por 06 meses sob condições controladas de temperatura (10, 20, 30 e 40°C) e umidade relativa do ar (10, 30, 50, 70 e 90%).

Temperatnra (°C)	R^2 (%)	P (%)	Tendência
10	58,05	2,32	Tendenciosa
20	64,83	2,96	Aleatória
30	66,14	2,69	Tendenciosa
40	62,87	2,74	Tendenciosa

4.9. Massa da semente

Os resultados das médias da massa da semente referente ao tempo de armazenamento, umidade relativa (10, 30, 50, 70 e 90%) e temperatura (10, 20, 30 e 40°C), para as sementes de amendoim, encontram-se na Tabela A9 do apêndice.

Nas Figuras 1.35, 1.36, 1.37 e 1.38 encontram-se os resultados experimentais obtidos através de análise de regressão não linear da massa da semente de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento, para as temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C, respectivamente.

Observa-se entre as Figuras 1.35 e 1.38, que a massa das sementes de amendoim oscilou entre 0,4076 e 0,7044g no decorrer do armazenamento em função da umidade relativa e do tempo de armazenamento. Nas mesmas figuras verifica-se que à medida que a umidade oscilou entre 4,1 e 86,77%, para as temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C, houve um aumento da massa da semente, devido, provavelmente, a elevada quantidade de vapor de água presente nas altas umidades relativas em função do tempo de armazenamento.

Observa-se, Figura 1.35, que a menor massa da sementes foi de 0,4039g, aos 30 dias de armazenamento, na umidade relativa de 10%, que corresponde a uma redução de 26,5%, com relação ao valor inicial. Devido a baixa umidade relativa do ar, provavelmente, a semente perdeu água para o meio de armazenamento, diminuído assim sua massa.

Na umidade relativa de 82,32%, verifica-se que o maior valor para a massa da semente foi de 0,7044g, Figura 1.38, aos 60 dias de armazenamento, que corresponde a um aumento de 22% da massa da semente. Observa-se que para todas as temperaturas que à medida que a umidade relativa se elevou, ocorreu um aumento da massa da sementes, em função do tempo de armazenamento. Assim observa-se que a massa da semente possui uma correlação com a umidade relativa, que está por sua vez, possui uma correlação direta com o teor de água. Verifica-se que à medida que a semente é armazenada em condições de baixa umidade relativa ele perde água para o meio, sofrendo o processo de dessorção, e o inverso ocorrerá ao serem armazenadas em altas umidades relativas, onde a semente ganha água do meio em que está armazenada, por meio do fenômeno de adsorção.

A massa da semente em determinadas condições possui uma relação direta com o tamanho da semente, que está relacionado com o seu potencial fisiológico, onde CARVALHO (1972); VANZOLINI et al. (2000), relatam que, apesar do tamanho não afetar a

germinação em sementes de amendoim, normalmente, sementes maiores originam plântulas mais vigorosas. Da mesma forma, acredita-se que o tamanho da semente de amendoim não afeta o seu potencial de armazenamento, conforme verificado por USBERTI (1982). CARVALHO (1972) concluiu que o tamanho da semente de amendoim, de forma geral, não afetou a sua germinação. Entretanto, sementes de amendoim das classes mais pesadas, maior densidade, apresentaram maior qualidade fisiológica, resultados estes encontrados por GODOI & CUNHA (1978).

Massa da semente de amendoim

$$M_s = 0,5406 - 0,0016 UR - 0,0016 t + 0,000031 t^2 + 0,000015 t UR + 0,000025 UR^2$$

$$R^2 = 43,5\%$$

Temperatura 10°C

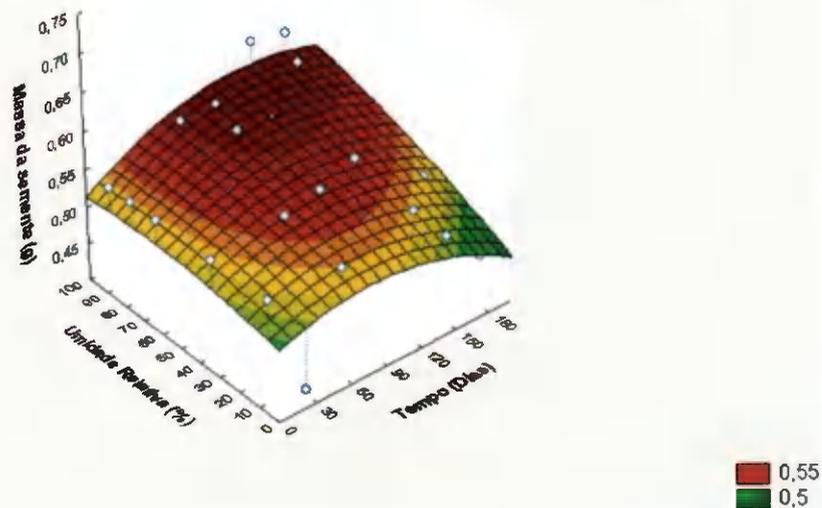


Figura 1.35 Massa da semente de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 10°C.

Massa da semente de amendoim

$$M_s = 0,5369 - 0,0010 UR - 0,0010 t + 0,000015 t^2 + 0,000016 t UR + 0,000005 UR^2$$

$R^2 = 40,73\%$

Temperatura 20°C

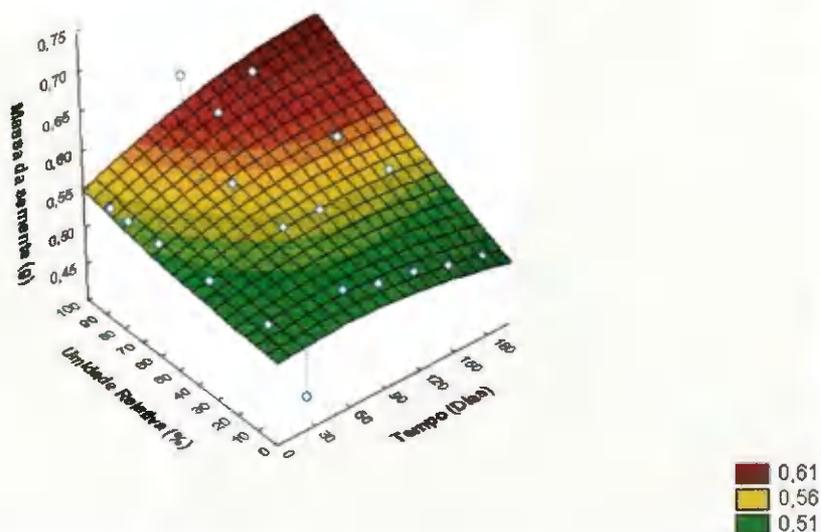


Figura 1.36 Massa da semente de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 20°C.

Massa da semente de amendoim

$$M_s = 0,5547 - 0,0022 UR - 0,0022 t + 0,000035 t^2 + 0,000002 t UR + 0,000036 UR^2$$

$R^2 = 52\%$

Temperatura 30°C

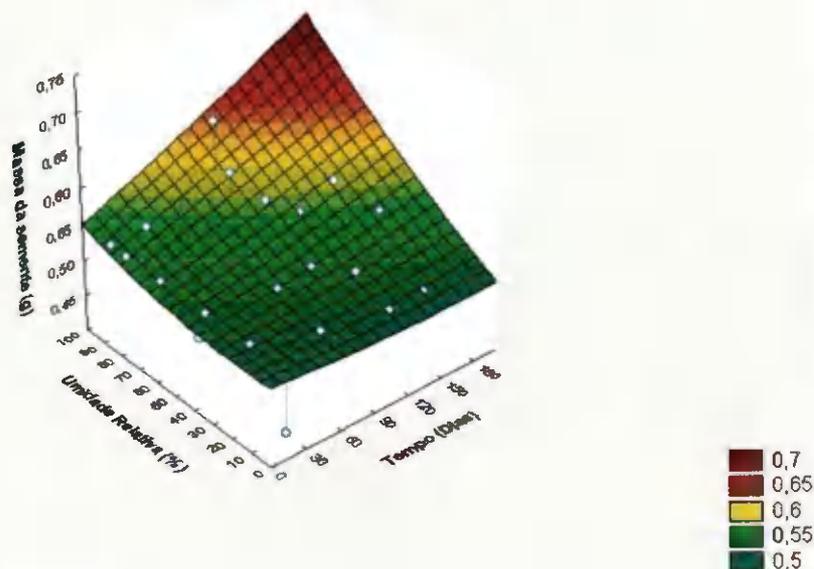


Figura 1.37 Massa da semente de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 30°C.

Massa da semente de amendoim

$$M_s = 0,5661 - 0,0016 UR - 0,0016 t + 0,000019 t^2 + 0,000004 t UR - 0,000007 UR^2$$

$$R^2 = 47,4 \%$$

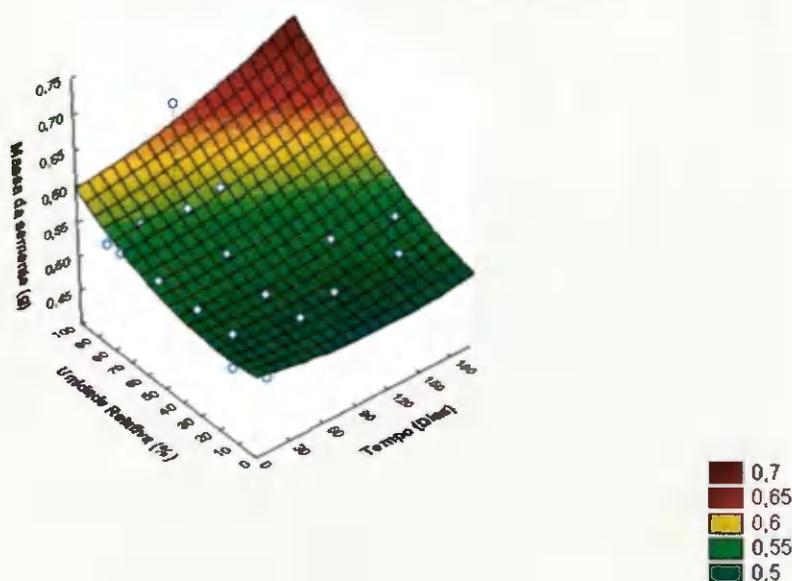
Temperatura 40°C

Figura 1.38 Massa da semente de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento para a temperatura controlada de 40°C.

Observa-se, Tabela 1.10, que o modelo não foi satisfatório na predição dos dados experimentais da massa das sementes de amendoim, para as condições estudadas, devido a baixos coeficientes de determinação, maiores erros relativos e distribuição tendenciosa dos resíduos, que pode ser justificado pela complexidade dos dados experimentais, demandando assim modelos matemáticos mais complexos, Figura 9A do apêndice.

Tabela 1.10. Coeficientes de determinação (R^2), erros relativos (P) e tendência de distribuição de resíduos do modelo para massa das sementes de amendoim armazenadas por 06 meses sob condições controladas de temperatura (10, 20, 30 e 40°C) e umidade relativa do ar (10, 30, 50, 70 e 90%).

Temperatura (°C)	R^2 (%)	P (%)	Tendência
10	43,5	6,05	Tendenciosa
20	40,7	5,53	Tendenciosa
30	52	5,17	Aleatória
40	47,4	5,31	Tendenciosa

4.10. Dimensões das sementes

As médias das dimensões maior eixo (a), eixo médio (b) e menor eixo (c) das sementes de amendoim obtidas pelo método da projeção e pelo método de análise de imagens, em função do tempo de armazenamento, umidade relativa (10, 30, 50, 70 e 90%) e temperatura (10, 20, 30, e 40°C), se encontram na Tabela 1.10.

A partir dos dados experimentais observa-se que as dimensões das sementes de amendoim possuem uma relação direta com a umidade relativa e com o tempo de armazenamento, onde à medida que ocorrer o aumento da umidade relativa, ocorrem oscilações nos eixos ortogonais das sementes de amendoim.

Observa-se que houve uma expansão mais acentuada das dimensões das sementes de amendoim nas condições de alta umidade relativa. As maiores expansões das dimensões foram de 21,81% para o maior eixo; 9,7% para o eixo médio e 5,53% para o menor eixo, todas em condições de umidade relativa acima de 82%. Verifica-se que as maiores variações nas dimensões das sementes de amendoim ocorrem no maior (a) e médio eixo (b), resultados estes também encontrados por CORRÊA et al. (2002) ao estudarem a variação das dimensões características e da forma dos frutos de café. O fenômeno inverso, contração das dimensões, ocorreu nas condições de baixa umidade relativa com variações de 1,84% para o maior eixo; 5,82% para o eixo médio e 9,1% para o menor eixo, em umidades relativas entre 5,4 e 33,07%. NEVES et al. (2009), observaram que houve redução das dimensões ortogonais das sementes de soja, à medida que diminuiu o teor de água e aumento à medida que esse se elevou. Assim verifica-se que altas umidades relativas, devido aos altos teores de vapor de água, influenciam nas dimensões do produto. Tal fato pode estar relacionado às modificações estruturais associadas às alterações celulares dos constituintes do produto, devido aos processos de retirada da água ou umedecimento do produto (MCMINN & MAGEE, 1997). As variações de comprimento, largura e espessura de avelãs foram estudadas por BARYEH (2001), onde o autor observou que, na absorção de água do meio, os grãos se expandem em todas as suas dimensões.

Assim, pode-se afirmar que a expansão ou a contração das dimensões de sementes de amendoim estão ligadas diretamente as umidades relativas e do tempo de armazenamento. Onde observa-se que a expansão das dimensões do amendoim foram mais acentuadas do que a contração. Resultado esse que corroboram com os resultados da massa específica real e

aparente, volume, porosidade, circularidade e esfericidade, os quais possuem relação direta com as dimensões das sementes.

4.11. Análise de imagens

Observa-se que os dois métodos utilizados para análise das dimensões das sementes de amendoim, foram eficientes na determinação das características físicas, visto que em uma única imagem pode-se analisar várias sementes de uma única vez.

Verifica-se nas Tabelas 1.10 e 11, as médias das dimensões e da área projetada determinadas pelos dois métodos utilizados, sendo o primeiro método o de projeção da semente em papel milimetrado; o segundo método, experimental, foi análise de imagens por meio do software Matlab 7.8 R2009a. Observa-se que o método de análise de imagem por meio do software foi eficiente, visto que os erros relativos foram inferiores a 12 e 9%, para dimensões e área projetada, respectivamente, Tabela 1.10 e 1.11, o que indica eficiência na análise das dimensões e da área projetada de sementes de amendoim. Observa-se que o maior erro nas dimensões determinadas pelo método de análise foi de 11,09%, aos 90 dias de armazenamento, na temperatura de 40°C e umidade relativa de 74,68%. Verifica-se que o maior erro para a área projetada determinada pelo método de análise de imagem foi de 8,1%, que ocorreu na temperatura de 10°C e umidade relativa de 75,67%, aos 30 dias de armazenamento, Tabela 1.11.

Constata-se que o método da projeção está propenso a maiores erros devido à própria metodologia como: distorções na projeção do produto; falta de uniformidade nas dimensões (mm^2) do papel milimetrado; variação na espessura da linha que circunda a semente; calibração e desenho realizado a “olho nu”.

O método de análise de imagens por meio do software Matlab 7.8 R2009a se mostrou um instrumento eficiente na análise de imagens de sementes de amendoim, visto que seus resultados são muito próximos dos valores obtidos no papel, com baixos erros como especificado anteriormente. Verifica-se que houve uma diferença entre os dois métodos de determinação das dimensões, onde no método da projeção as dimensões são determinadas pelo somatório dos mm inscritos no maior eixo (a) e somatório dos mm no menor eixo (b) da semente de amendoim (Figura 1.39). No método de análise de imagens o software identifica a

maior dimensão interna da figura, correspondente ao maior eixo (a) e traça uma reta perpendicular esta correspondente ao menor eixo (b), Figura 1.39, esquerda.

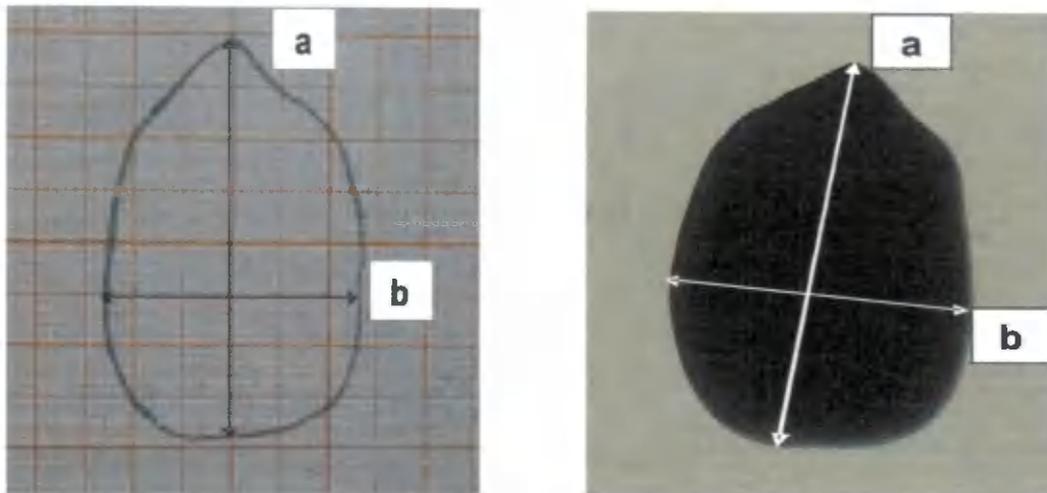


Figura 1.39 Análise das dimensões pelo método da projeção e análise de imagens, da esquerda para direita

Verifica-se na Figura 1.40, a rotina computacional (programa) nomeada de “Amendoim. m”, referente à mensuração do centróide, maior eixo, menor eixo e área de sementes de amendoim, analisadas através do processamento de imagens por meio do software Matlab 7.8 R2009a.

As imagens passaram por uma triagem composta por três processos operacionais, sendo: a) captura; b) tratamento e c) processamento.

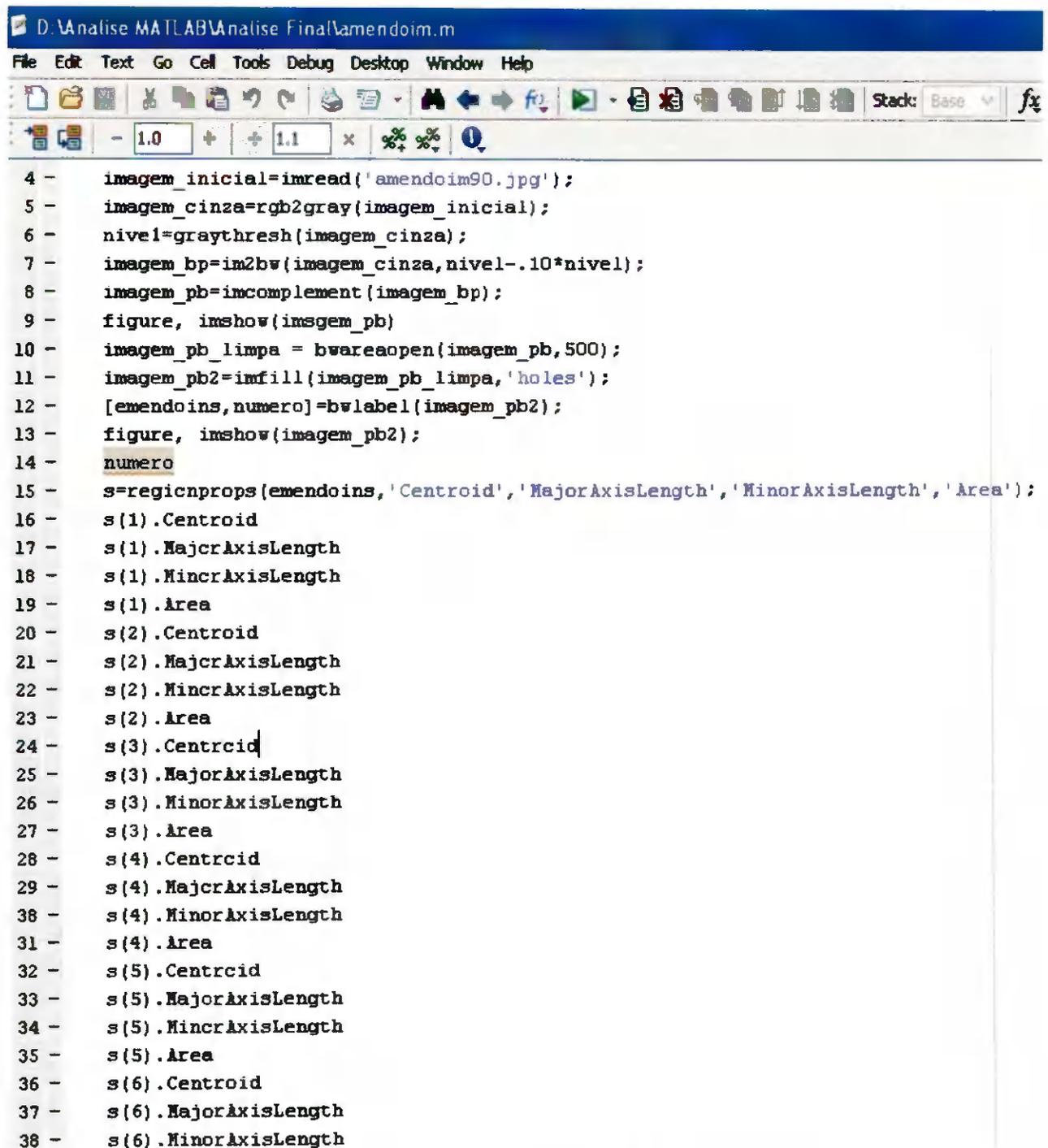
Na Figura 1.41, observa-se o processo de captura das imagens das sementes de amendoim armazenadas sob condições controladas de umidade relativa e temperatura, processo esse que se baseou na identificação do produto. Primeiro na posição de repouso, onde se identificaram os eixos “a” e “b”, juntamente com a área projetadas das sementes e segundo na posição com giro de 90°, a partir da posição de repouso onde se identificou o eixo “c”, obtendo-se assim comprimento, largura e espessura, respectivamente. No momento da captura (digitalização da imagem) realizaram-se os seguintes ajustes: iluminação do ambiente, onde se utilizou uma luz fluorescente de formato circular por baixo de um suporte de papel manteiga, o qual proporcionou um contraste entre o formato da semente e iluminação; ajuste do zoom digital e altura fixa da câmera para captura todas as imagens durante todo o experimento. Essa etapa foi decisória no sucesso do experimento, visto que após a captura, os recursos de melhoria da qualidade da imagem são pouco eficientes comparados com a

qualidade original obtida em bons padrões de resolução. De acordo com DAY (1997) uma imagem digital de baixa resolução mapeada em tela de alta resolução tem uma limitação prática, que consiste na perda da qualidade visual da cena quando pormenorizada através de zoom de aproximação.

Verifica-se na Figura 1.42, a etapa de tratamento das imagens, processo esse que se baseou no manuseio das imagens, onde se realizou o recorte das imagens, mapeamento das mesmas e ajuste das imagens para serem analisadas pelo software Matlab 7.8 R2009a.

O Processamento das imagens consistiu na interpretação de dados dimensionais em dados numéricos, que se baseou na conversão de pixels em mm. Essa interpretação foi realizada por meio do software Matlab 7.8 R2009a, que ao analisar as imagens foram fornecidas quatro informações de cada imagem processada: 1) centróide; 2) maior eixo; 3) menor eixo e 4) área. As informações foram emitidas em pixels, onde se realizou a conversão para mm, com um fator de escala em que 34,9pixels equivale a 1 mm (um milímetro), escala está construída a partir de uma amostragem das próprias sementes de amendoim. O processamento de uma imagem contendo seis sementes foi eficiente com relação ao tempo, onde se utilizou em média 5 segundo para o processamento e resultado em pixel para cada imagem. Após o processamento as informações foram tabuladas em planilhas do Office Excel e convertidas pelo fator de escala citado anteriormente. Em seguida, realizou-se a tabulação dos dados e o cálculo dos erros entre os métodos utilizados da projeção e o método de análise de imagens. O processamento de uma imagem digital envolve várias operações que podem ser aplicadas aos dados de uma imagem. Netas operações estão incluídas técnicas de compressão de imagens, restauração de imagens, melhoramento de imagens, quantificação, filtragem espacial, acabamento e reconhecimento (TEIXEIRA et al., 2003).

No entanto, mesmo com a eficiência observada, o tratamento das imagens pelo software Matlab 7.8 R2009a, necessita ser mais aperfeiçoado, visto que a metodologia de operacionalização utilizada demandou muito tempo, devido a alguns fatores como: 1) tratamento manual da posição de cada semente durante a captura da imagem; 2) processamento individual de cada semente; 3) o software não gerar uma planilha no Office Excel.



```

4 -   imagem_inicial=imread('amendoim90.jpg');
5 -   imagem_cinza=rgb2gray(imagem_inicial);
6 -   nivel=graythresh(imagem_cinza);
7 -   imagem_bp=im2bw(imagem_cinza,nivel-.10*nivel);
8 -   imagem_pb=imcomplement(imagem_bp);
9 -   figure, imshow(imagem_pb)
10 -  imagem_pb_limpa = bwareaopen(imagem_pb,500);
11 -  imagem_pb2=imfill(imagem_pb_limpa,'holes');
12 -  [emendoins,numero]=bwlabel(imagem_pb2);
13 -  figure, imshow(imagem_pb2);
14 -  numero
15 -  s=regionprops(emendoins,'Centroid','MajorAxisLength','MinorAxisLength','Area');
16 -  s(1).Centroid
17 -  s(1).MajorAxisLength
18 -  s(1).MinorAxisLength
19 -  s(1).Area
20 -  s(2).Centroid
21 -  s(2).MajorAxisLength
22 -  s(2).MinorAxisLength
23 -  s(2).Area
24 -  s(3).Centroid
25 -  s(3).MajorAxisLength
26 -  s(3).MinorAxisLength
27 -  s(3).Area
28 -  s(4).Centroid
29 -  s(4).MajorAxisLength
30 -  s(4).MinorAxisLength
31 -  s(4).Area
32 -  s(5).Centroid
33 -  s(5).MajorAxisLength
34 -  s(5).MinorAxisLength
35 -  s(5).Area
36 -  s(6).Centroid
37 -  s(6).MajorAxisLength
38 -  s(6).MinorAxisLength

```

Figura 1.40 Rotina computacional nomeada de Amendoim. m, referente a mensuração do centróide, maior eixo, menor eixo e área de sementes de amendoim, analisadas através do processamento de imagens por meio do software Matlab 7.8 R2009a.

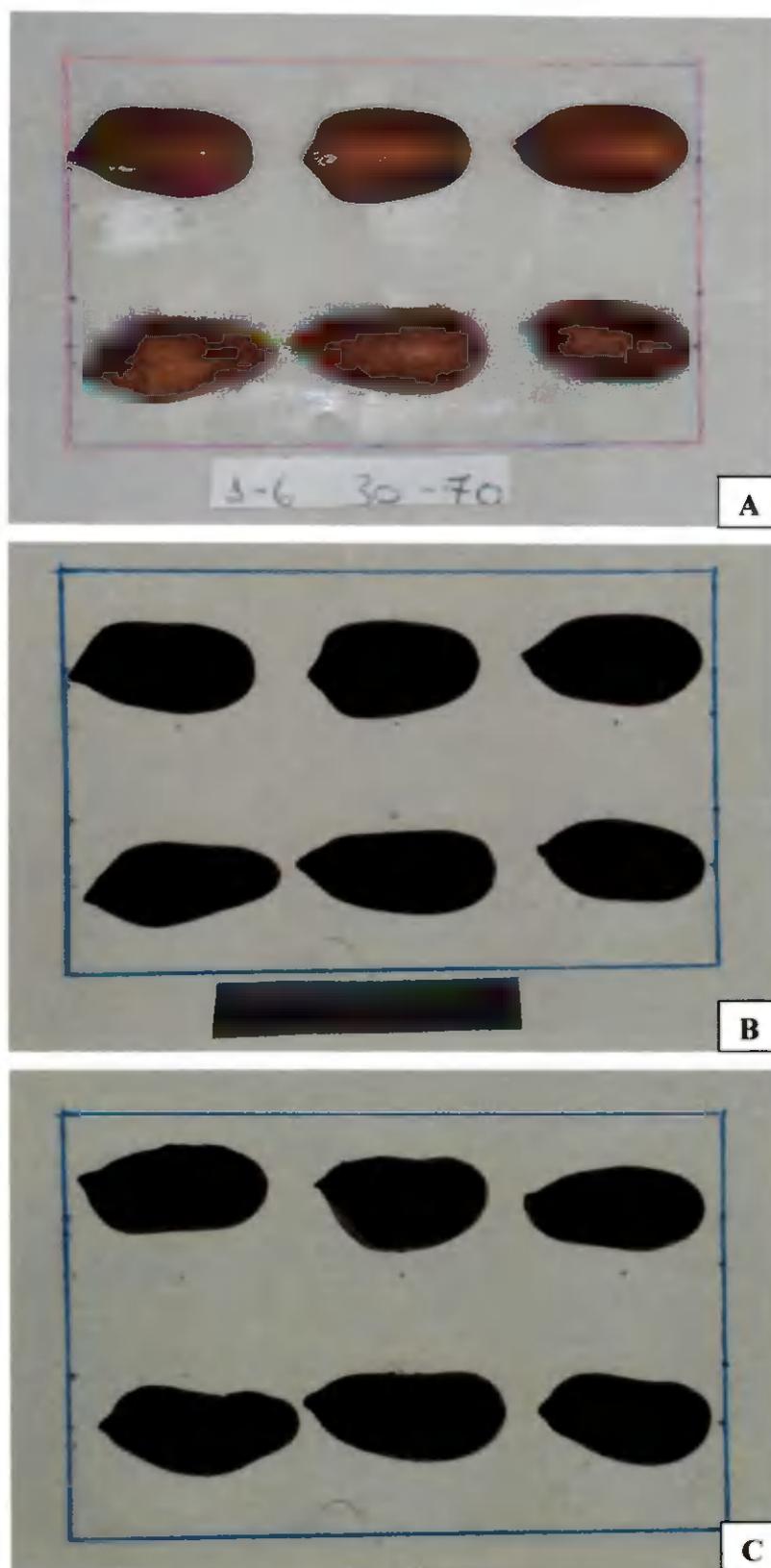


Figura 1.41 Captura de imagens digitais das sementes de amendoim: sementes de amendoim na posição de repouso, sem contraste de luz (A); sementes de amendoim com contraste de luz (B); sementes de amendoim com giro de 90° (C).

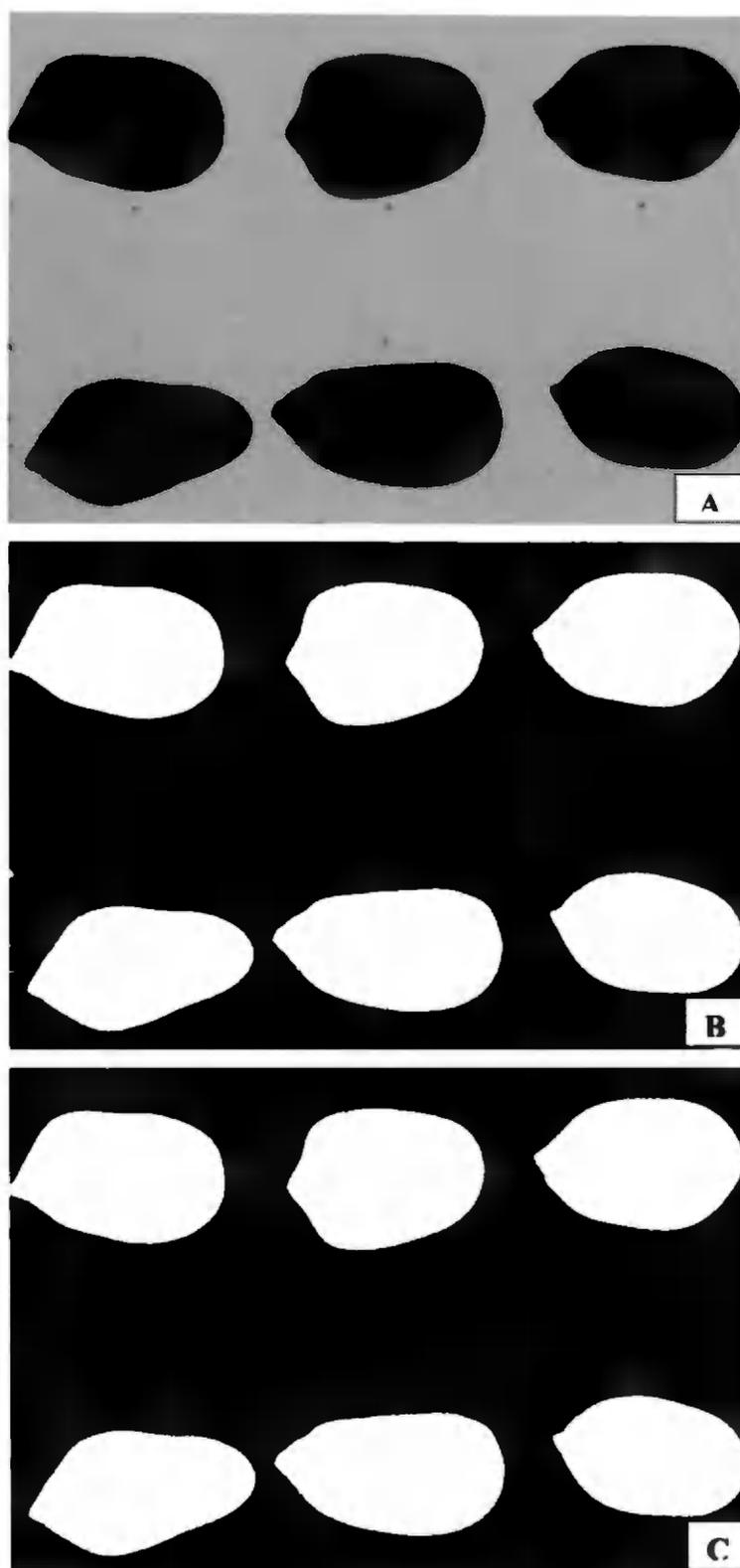


Figura 1.42 Tratamento de imagens digitais de sementes de amendoim: imagem recortada (A); imagem após o 1º tratamento (B); imagem após 2º tratamento (C) pelo software Matlab 7.8 R2009a.

Tabela 1.11. Médias das dimensões maior eixo (a), eixo médio (b) e eixo menor (c) e erro (%) de sementes de amendoim sob condições controladas durante 180 dias de armazenamento.

T °C	UR %	30 dias									60 dias								
		Projeção			Matlab			Erros %			Projeção			Matlab			Erros %		
		Médias dimensões (mm)									Médias (mm)			Médias (mm)					
		a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	A	b	c
10	5,4	14,81	8,99	8,39	13,93	9,19	8,31	6,28	2,18	0,97	14,06	8,61	7,89	13,86	8,87	7,98	1,41	2,87	1,14
	33,47	14,61	8,44	8,33	14,18	8,69	8,43	3,07	2,77	1,10	14,31	8,61	7,94	14,14	8,69	8,02	1,14	0,91	0,99
	62,15	15,11	8,83	7,96	14,50	8,77	8,04	4,22	0,76	1,07	13,75	8,67	7,94	13,38	8,73	7,71	2,74	0,68	3,03
	75,67	15,50	8,94	8,07	14,47	8,70	8,07	7,09	2,86	0,02	13,61	8,75	8,31	12,52	8,94	8,18	8,74	2,12	1,55
	86,77	14,81	8,56	8,31	14,24	8,76	8,11	3,95	2,37	2,44	14,17	9,06	8,06	13,88	9,26	8,13	2,03	2,21	0,94
20	4,1	13,92	9,31	7,94	13,77	9,19	7,83	1,06	1,25	1,49	14,42	8,58	7,86	14,12	8,86	7,85	2,09	3,18	0,16
	33,07	15,00	9,08	8,31	14,92	8,86	7,95	0,54	2,53	4,41	14,17	8,81	8,42	14,00	9,03	8,11	1,19	2,49	3,79
	59,14	14,61	8,83	8,19	13,57	8,95	7,98	7,71	1,28	2,69	14,25	9,19	7,92	13,94	9,41	8,01	2,23	2,24	1,22
	75,47	15,06	8,81	8,08	14,80	8,91	8,26	1,74	1,18	2,16	13,78	9,00	7,83	13,53	9,19	8,02	1,87	2,06	2,34
	85,11	15,03	9,19	8,22	14,30	8,89	8,11	5,10	3,38	1,38	14,61	9,44	8,53	14,53	9,70	8,67	0,52	2,65	1,61
30	10	14,72	8,83	8,08	14,63	8,46	8,33	0,63	4,45	2,92	13,94	8,64	7,94	13,48	8,82	7,98	3,44	2,03	0,44
	32,44	15,64	8,97	8,22	15,48	8,61	8,20	1,02	4,24	0,23	13,78	8,72	7,83	13,37	8,92	7,85	3,02	2,25	0,22
	56,03	15,00	8,61	8,06	14,32	8,70	7,89	4,77	1,06	2,14	13,19	8,72	8,03	13,01	8,81	7,87	1,41	1,05	1,95
	75,09	15,31	9,11	7,94	15,06	8,52	7,98	1,64	6,88	0,50	13,67	8,86	8,00	13,14	8,94	7,94	4,01	0,87	0,75
	83,62	15,39	9,03	8,58	15,27	8,78	8,24	0,77	2,81	4,12	14,03	8,78	7,72	13,90	9,06	7,81	0,95	3,14	1,11
40	12,5	15,31	8,97	8,11	15,33	8,75	8,13	0,18	2,59	0,29	13,64	8,64	8,03	13,48	8,98	8,12	1,21	3,84	1,16
	31,6	15,11	9,14	7,94	14,55	8,87	8,01	3,85	2,99	0,79	13,08	8,83	7,97	12,94	9,05	8,07	1,11	2,34	1,19
	53,17	14,89	8,94	8,39	14,60	8,79	8,22	1,96	1,72	2,09	13,64	8,61	7,92	13,63	8,86	8,02	0,10	2,86	1,32
	74,68	15,11	8,97	8,06	14,52	8,63	7,72	4,06	3,92	4,29	14,11	8,97	7,89	13,79	9,17	7,95	2,31	2,13	0,73
	82,32	15,08	8,78	8,06	14,94	8,48	7,89	0,94	3,52	2,08	14,56	9,61	8,42	14,31	9,98	8,85	1,70	3,69	4,86

T – Temperatura, °C; UR – Umidade relativa, %. Valor inicial: maior eixo (a) = 13,02mm; eixo médio(b) = 8,76mm e menor eixo(c) = 8,13mm.

Tabela 1.11. Continuação.

T °C	UR %	90 dias									120 dias								
		Projeção			Matlab			Erros %			Projeção			Matlab			Erros %		
		Médias dimensões (mm)									Médias (mm)			Médias (mm)					
a	b	e	a	b	e	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c		
10	5,4	13,58	8,75	7,97	13,11	8,88	7,86	3,63	1,44	1,38	14,56	8,78	8,22	13,98	8,60	7,95	4,11	2,03	3,45
	33,47	14,19	8,97	7,97	13,85	8,92	8,15	2,48	0,58	2,19	14,47	8,92	8,36	13,91	8,65	8,32	4,06	3,04	0,44
	62,15	14,42	8,94	8,14	13,63	8,89	8,06	5,80	0,56	0,95	15,47	9,08	8,53	15,08	9,08	8,48	2,59	0,01	0,57
	75,67	14,22	9,36	8,56	13,66	9,13	8,28	4,15	2,54	3,38	13,69	8,94	8,44	13,23	8,85	8,60	3,52	1,08	1,83
	86,77	14,19	9,19	8,39	13,86	9,20	8,31	2,42	0,03	0,91	15,11	9,17	8,53	14,77	9,13	8,68	2,29	0,42	1,71
20	4,1	13,94	9,17	8,14	12,77	9,12	7,98	9,22	0,53	1,93	13,92	9,22	7,92	13,39	9,04	7,73	3,92	2,00	2,38
	33,07	14,33	9,28	8,11	13,67	9,47	8,18	4,88	2,06	0,87	13,75	9,11	7,83	13,08	9,03	7,77	5,15	0,88	0,77
	59,14	14,19	8,94	8,08	13,81	8,93	8,02	2,78	0,11	0,77	14,14	9,00	8,19	13,54	9,07	7,94	4,41	0,77	3,24
	75,47	14,69	9,00	8,06	13,99	9,07	7,92	5,06	0,74	1,68	14,86	8,75	8,22	14,54	8,90	8,04	2,18	1,63	2,23
	85,11	14,67	9,17	7,97	14,48	9,28	8,13	1,30	1,19	1,99	15,86	9,31	8,53	15,38	9,24	8,43	3,11	0,70	1,12
30	10	14,72	9,00	7,97	14,27	9,29	8,08	3,14	3,09	1,39	14,00	8,72	8,03	13,37	8,66	7,84	4,69	0,74	2,37
	32,44	14,17	9,06	7,89	13,60	9,06	7,98	4,15	0,00	1,13	14,08	8,81	7,83	13,63	8,82	7,74	3,35	0,14	1,16
	56,03	14,50	9,00	7,92	13,95	9,22	8,12	3,94	2,35	2,53	14,06	8,94	8,08	13,72	9,01	8,09	2,45	0,72	0,10
	75,09	14,50	9,00	7,92	14,26	9,20	8,17	1,69	2,22	3,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	83,62	15,22	9,42	8,03	14,62	9,71	8,51	4,12	2,98	5,70	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	12,5	14,00	9,33	7,81	14,25	8,98	7,94	1,78	3,96	1,68	14,00	8,72	8,03	13,32	8,64	7,72	5,10	0,97	4,04
	31,6	14,36	8,64	7,81	13,59	8,78	7,83	5,69	1,61	0,27	14,08	8,81	7,83	13,29	8,96	8,25	6,01	1,72	5,00
	53,17	14,31	8,72	7,81	13,72	8,86	8,01	4,23	1,56	2,57	14,06	8,94	8,08	13,24	8,81	7,90	6,16	1,52	2,33
	74,68	14,86	8,92	7,92	13,38	9,41	7,93	11,9	5,26	0,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	82,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

T – Temperatura, °C; UR – Umidade relativa, %. Valor inicial: maior eixo (a) = 13,02mm; eixo médio(b) = 8,76mm e menor eixo(c) = 8,13mm.

Tabela 1.11. Continuação.

T °C	UR %	150 dias									180 dias								
		Projeção			Matlab			Erros %			Projeção			Matlab			Erros %		
		Médias dimensões (mm)									Médias (mm)			Médias (mm)					
		a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
10	5,4	13,28	8,25	7,64	13,30	8,59	7,78	0,20	3,94	1,82	12,89	8,33	7,42	12,56	8,63	7,69	2,59	3,40	3,60
	33,47	13,36	8,67	7,53	13,34	8,88	7,75	0,15	2,42	2,85	13,47	8,44	7,69	13,45	8,72	7,75	0,20	3,17	0,70
	62,15	13,50	8,50	7,64	13,07	8,86	7,84	3,32	4,06	2,61	13,72	8,58	7,72	13,76	8,81	7,86	0,27	2,59	1,70
	75,67	13,67	8,44	7,50	13,60	8,46	7,70	0,45	0,18	2,62	13,83	8,50	7,47	13,85	8,85	7,73	0,12	3,91	3,30
	86,77	14,64	8,86	7,94	14,74	9,22	8,40	0,66	3,92	5,47	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	4,1	13,61	8,61	7,61	13,22	8,71	7,57	2,98	1,08	0,58	12,78	8,33	7,67	12,87	8,65	7,74	0,71	3,66	0,80
	33,07	13,83	9,00	7,72	13,72	9,10	8,01	0,80	1,06	3,54	13,58	8,44	7,39	13,01	8,70	7,52	4,41	2,92	1,70
	59,14	14,28	8,81	7,69	14,10	9,08	7,98	1,28	3,07	3,60	14,03	8,28	7,64	14,10	8,67	7,92	0,54	4,47	3,50
	75,47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	85,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	10	13,58	8,44	7,64	13,04	8,38	7,67	4,19	0,75	0,45	13,19	8,53	7,58	12,82	8,68	7,81	2,89	1,79	2,90
	32,44	14,31	8,89	7,67	13,96	8,92	7,76	2,47	0,39	1,20	13,28	8,75	7,72	13,20	8,94	7,61	0,56	2,13	1,50
	56,03	14,11	8,86	7,89	13,73	8,96	7,84	2,78	1,06	0,63	14,14	8,28	7,78	14,12	8,55	7,94	0,16	3,17	2,00
	75,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	83,62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	12,5	13,75	9,00	8,08	13,40	8,91	7,90	2,63	1,03	2,38	13,44	8,56	7,72	13,16	8,78	7,94	2,18	2,53	2,70
	31,6	13,42	8,53	7,61	13,22	8,65	7,49	1,49	1,43	1,59	13,78	8,64	7,72	13,69	8,98	7,83	0,67	3,82	1,40
	53,17	13,97	8,83	7,86	13,83	9,06	7,90	1,03	2,53	0,48	14,03	8,47	7,94	13,89	8,73	7,55	1,02	2,95	5,20
	74,68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	82,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

T – Temperatura, °C; UR – Umidade relativa, %. Valor inicial: maior eixo (a) = 13,02mm; eixo médio(b) = 8,76mm e menor eixo(c) = 8,13mm.

Tabela 1.12 Médias das áreas das sementes de amendoim determinadas pelo método da projeção no papel milimetrado e pelo Matlab 7.8 R2009a, e erro (%) entre os dois métodos.

T °C	UR %	30 dias			60 dias			90 dias		
		Médias (mm)		Erro (%)	Médias (mm)		Erro (%)	Médias (mm)		Erro (%)
		Projeção Área (mm ²)	MAT LAB Área (mm ²)		Projeção Área (mm ²)	MAT LAB Área (mm ²)		Projeção Área (mm ²)	MAT LAB Área (mm ²)	
10	5,4	103,38	101,46	1,89	93,27	96,13	2,98	90,88	90,92	0,05
	33,47	95,08	88,55	7,37	93,77	96,31	2,64	96,57	96,69	0,12
	62,15	99,98	99,07	0,92	91,65	91,44	0,22	97,73	95,00	2,88
	75,67	106,23	98,27	8,10	90,21	90,11	0,12	98,22	97,44	0,81
	86,77	97,38	97,08	0,31	96,78	100,25	3,46	98,89	100,34	1,45
20	4,1	96,16	99,06	2,93	93,56	97,77	4,30	97,59	92,66	5,32
	33,07	104,96	102,74	2,17	94,68	98,57	3,95	101,88	99,12	2,78
	59,14	95,66	94,32	1,42	98,61	102,31	3,61	96,14	96,20	0,06
	75,47	103,16	102,84	0,31	93,65	97,20	3,65	98,66	99,08	0,42
	85,11	104,21	99,51	4,73	103,82	110,12	5,72	102,84	105,40	2,42
30	10	98,23	96,32	1,99	91,78	93,07	1,39	101,58	100,90	0,68
	32,44	105,99	103,89	2,02	92,33	93,27	1,00	96,77	96,07	0,72
	56,03	99,52	97,13	2,46	87,21	89,42	2,47	102,44	100,42	2,01
	75,09	106,88	99,86	7,03	89,52	91,55	2,22	102,37	102,53	0,15
	83,62	107,99	104,75	3,09	95,14	98,35	3,27	111,33	110,81	0,47
40	12,5	105,08	103,78	1,26	89,56	94,72	5,45	98,89	99,75	0,86
	31,6	104,67	100,90	3,75	87,48	91,47	4,36	94,41	93,18	1,31
	53,17	102,78	100,12	2,65	89,88	95,15	5,53	96,41	94,93	1,55
	74,68	103,06	97,14	6,10	94,95	98,98	4,07	100,37	98,22	2,18
	82,32	101,91	98,84	3,11	106,44	111,78	4,78	-	-	-

T – Temperatura, °C; UR – Umidade relativa, %. Valor inicial da área no papel milimetrado: 86,24mm².

Tabela 1.12. Continuação.

T °C	UR %	120 dias			150 dias			180 dias		
		Médias (mm)		Erro (%)	Médias (mm)		Erro (%)	Médias (mm)		Erro (%)
		Projeção Área (mm ²)	MAT LAB Área (mm ²)		Projeção Área (mm ²)	MAT LAB Área (mm ²)		Projeção Área (mm ²)	MAT LAB Área (mm ²)	
10	5,4	93,54	93,54	3,47	85,30	89,56	4,76	81,97	85,57	4,20
	33,47	94,07	94,07	4,77	88,65	92,50	4,16	88,17	91,75	3,90
	62,15	107,08	107,08	1,33	88,43	93,52	5,45	91,76	94,79	3,20
	75,67	91,63	91,63	1,89	86,78	92,16	5,84	88,28	95,74	7,79
	86,77	105,54	105,54	0,78	98,41	106,42	7,53	-	-	-
20	4,1	94,80	94,80	4,63	89,44	90,09	0,72	85,12	89,53	4,92
	33,07	92,15	92,15	2,33	93,35	97,58	4,33	87,04	91,81	5,20
	59,14	95,63	95,63	3,33	97,17	100,11	2,94	89,12	95,33	6,51
	75,47	100,90	100,90	0,96	-	-	-	-	-	-
	85,11	110,69	110,69	0,71	-	-	-	-	-	-
30	10	90,55	90,55	2,40	85,79	85,52	0,31	84,97	86,83	2,14
	32,44	93,78	93,78	0,82	95,25	97,32	2,13	87,92	92,43	4,88
	56,03	96,28	96,28	0,76	92,56	96,12	3,71	89,50	94,32	5,11
	75,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	83,62	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	12,5	89,87	89,87	3,39	89,98	93,34	3,60	86,25	90,07	4,24
	31,6	93,44	93,44	1,45	87,06	89,24	2,43	90,53	93,96	3,66
	53,17	91,13	91,13	0,69	90,69	97,83	7,29	89,56	95,36	6,09
	74,68	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	82,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-

T – Temperatura, °C; UR – Umidade relativa, %. Valor inicial da área no papel milimetrado: 86,24mm²

I. 5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, estabeleceram-se as seguintes conclusões:

A variação das propriedades físicas e das características físicas das sementes de amendoim, em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento, apresentam a mesma tendência verificada na maioria dos produtos agrícolas;

Devido a sua composição química, rica em lipídios (óleo), as sementes de amendoim diferem de outros produtos agrícolas, quanto à velocidade de dessecção e/ou adsorção, sendo necessário mais tempo para realização desses processos na estrutura da semente;

A massa específica real e a massa específica aparente das sementes de amendoim variam com a elevação ou redução da umidade relativa do ar, porém não apresentam uma correlação linear;

A massa específica real das sementes de amendoim sob condições controladas de armazenamento variou entre 1013,39 e 1134,45 kg.m⁻³;

A massa específica aparente das sementes de amendoim sob condições controladas de armazenamento variou entre 612,91 e 676,76 kg.m⁻³;

A porosidade das sementes de amendoim variou entre 35,10 e 45,61% com o aumento da umidade relativa do ar;

A circularidade e a esfericidade das sementes de amendoim variam com a oscilação da umidade relativa do ar, porém, devido à variação no seu formato geométrico e sua composição química, essa propriedade não possui uma correlação linear;

O volume das sementes de amendoim possui uma correlação direta com a umidade relativa do ar e com o tempo de armazenamento, onde à medida que a umidade relativa oscila ocorre uma expansão ou contração volumétrica, variando entre 417,47 e 657,73 mm³, sob condições controladas de armazenamento;

A área projetada das sementes de amendoim variou entre 81,97 e 111,48 mm², e que a mesma possui uma correlação com a umidade relativa do ar e com o tempo de armazenamento;

A massa da semente e a massa de mil sementes do amendoim variam com a oscilação da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento, os quais variam entre 0,4076 e 0,7044 g e 420,61 e 564,20g para massa da semente e massa de mil, respectivamente;

Devido à quantidade de dados experimentais, verificou-se a necessidade de modelos matemáticos complexos, onde o modelo cúbico não se mostrou satisfatório na predição de

determinadas propriedades e características físicas das sementes de amendoim para as condições de armazenamento;

A análise de imagens por meio da utilização do software Matlab 7.8 R2009a foi eficiente na determinação das características físicas das sementes de amendoim sob condições controladas de armazenamento;

O software Matlab 7.8 R2009a se apresenta com uma ferramenta de avanço e de precisão na determinação das características físicas de produtos agrícolas, visto que os erros relativos entre o método convencional da projeção e o método experimental de análise de imagens foram inferiores a 11%;

O método de análise de imagens necessita ser mais estudado, em busca de uma operacionalização mais eficiente dos recursos do software e, conseqüentemente, avanços na condução de novas pesquisas.

I. 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C.; ANDRADE, E. T. Análise da variação das propriedades físicas e contração volumétrica dos grãos de milho (*Pennisetum glaucum*) durante o processo de dessecamento. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.25, n.1, p.15-21, 2000.

AGRAWAL, K. K.; CLARY, B. L.; SCHROEDER, E. W. Mathematical models of peanut pod geometry. **ASAE**. St. Joseph, 1972, 30p.

BARYEH, E. A. Physical properties of bambara groundnuts. **Journal of Food Engineering**, v. 47, p. 321-326, 2001.

BENEDETTI, B. C. **Influência do teor de umidade sobre propriedades físicas de vários grãos**. Campinas:UNICAMP, 1987.125p. (Mestrado em Engenharia Agrícola)

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. 399p.

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

CARVALHO, N. M. Efeitos do tamanho sobre o comportamento da semente de amendoim (*Arachis hypogaea*). **Ciência e Cultura**, v.24. p.64-69, 1972.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciências, tecnologia e produção**. 4 ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588p.

CARVALHO, M. L. M.; OBANDO-FLOR, E. P.; CABRAL, P. Internal damages of drying, evaluated by X-ray test and its effects on the quality of stored corn seeds (*Zea mays* L.). INTERNATIONAL SEED TESTING CONGRESS SEED SYMPOSIUM, 26 Angers. 18/20, jun. 2001. **Abstracts...** Angers: ISTA, 2001. p.73.

CAVALCANTI, M. T. ; CAVALCANTI, J. H. F., “**Sistema inteligente para o reconhecimento de Sementes**”, III ERIMC (Encontro Regional de Instrumentação e Metrologia Científicas), Campina Grande, dezembro de 2005.

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 “carioea”**: Avaliação experimental, modelagem e simulação. 1997b. 229f. Tese de Doutorado. UNICAMP Campinas – SP.

CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; ALMEIDA, F. A. C. ; DUARTE, M. E. M. **Secagem de sementes**. In: ALMEIDA, F. A. C; DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. (Org.). Tecnologia de armazenagem em sementes. 1 ed. Campina Grande, PB: UFCG, 2006, v. 1, p. 271-370.

CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; ARAGÃO, R.F; SANATANA, E. F.; SILVA, F. A. S. Estudo da morfologia geométrica em grãos. **Revista Nordestina de Armazenagem**, v. 3, n. 1, p. 3-30, 1986.

CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M. Porosidade intergranular de produtos agrícolas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.4, n.1, p.79-93, 2002

CÍCERO, S. M.; VAN DER HEIJDEN, G. W. A. M., VANDER BURG W. J., BINO, R. J. Evaluation of mechanical damages in seeds of maize (*Zea mays* L). by X ray and digital imaging. **Seed Science and Technology**, v.26, n. p.603-612, 1998.

CORRÊA, P. C.; AFONSO JÚNIOR, P. C.; ANDRADE, E. T.; SILVA, F. S. Determinação da propriedades físicas da massa granular de milho, alpiste e painço. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.28, n.2, p.46-50,2003.

CORRÊA, P. C.; AFONSO JÚNIOR, P. C.; QUEIROZ, D.M; SAMPAIO, C. P.; CARDOSO J. B. Variação das dimensões características e da forma dos frutos de café durante o processo de secagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.3, p.466-470, 2002.

COUTO, S. M.; MAGALHÃES, A.C.; QUEIROZ, D. M.; BASTOS, I. T. Massa específica aparente e real e porosidade de grãos de café em função do teor de umidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.1, p.61-68, 1999.

CRUVINEL, P. E.; CRESTANA, S.; JORGE, L. A. C. Métodos e aplicações do processamento de análises digitais. In: CRESTANA, S; CRUVINEL, P. E.; BISCEGLI, C. I.; MARTIN-NETO, L.; COLNAGO, L. A. (Ed.). **Instrumentação agropecuária: contribuições no limiar do novo século**. Brasília: EMBRAPA, SPI, 1996. p.91-151.

DAY, J. B. **Color scanning handbook**. Upper Saddle River: Prentice Hall PTR, 1997. 267p.

DUTTA, S. K.; NEMA, V. K.; BHARDWAJ, R. K. Physical properties of gram. **Journal Agricultural Engineering Research**, v.39, p.259-268, 1988.

FREITAS, S. M.; MARTINS, S.S.; NOMI, A. K.; CAMPOS, A. F. **Evolução do mercado brasileiro do amendoim**. In: SANTOS, R. C. (Ed.). O agronegócio do amendoim. 1ª Edição. Campina Grande: Embrapa Algodão. 2005. p.14-44.

FORTES, M.; OKOS, M.R. Changes in physical properties of corn during drying. **Transactions of the ASAE**, v. 23, n.4, p. 1004-1008, 1980.

FURLANI, A. C. F. A. **Performance da aplicação de polímero no tratamento de sementes de amendoim**. 2009. 57f. Tese de Doutorado. UNESP – Jaboticabal – SP.

GIRARDIN, P.; CHAVAGNAT, A.; BOCKSTALLER, C. Determination des caractéristiques des semences de maïs grace a la radio graphie rayons X. **Seed Science and Technology**, v.21, n. p.545-551, 1993.

GODOI, A. P.; CUNHA, J. M. Vigor e rendimento de planta de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) originadas de sementes de diferentes densidades. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.13, p.65-71, 1978.

GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; BOTELHO, F. M.; OLIVEIRA, G. H. H.; SANTOS, E. S. Propriedades físicas dos frutos de mamona durante a secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.33, n.2, p.148-155, 2008.

GREENSPAN, L. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. **Journal of Research of the National Bureau of Standards**, v. 81, n. 1, p. 89-96, 1977.

HENRIQUES, D. R.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; RIBEIRO, D. M. Efeito da secagem na contração volumétrica do grãos e na porosidade da massa de grãos de soja. **IV Seminário nacional de armazenagem**, Uberlândia – MG, 2005

IHRIG, S; IHRIG, E. **Scanning: the Professional way**. Berkeley: Osborne McGraw-Hill, 1997. 148p.

JAYAS, D.S.; SOKHANASNJ, J.; WHITE, N.D.G. Bulk density and porosity of two canola species. **Transaction of the ASAE**, v.32, n.2, p.291-294, 1989.

KROKIDA, M.K.; MAROULIS, Z.B. Effect of drying method on shrinkage and porosity. **Drying Technology**, v.15, n.10, p.2441- 2458, 1997.

LANG, W.; SOKHANSANJ, S.; ROHANI, S. Dynamic shrinkage and variable parameters in Bakker-Arkema's mathematical simulation of wheat and canola drying. **Drying Technology**, v.12, n.7, p.1687-1708, 1994.

LUCENA, E. M. P.; SILVA, J. S. **Estrutura, composição e propriedades das sementes**. In: SILVA, J. S. Pré-processamentos de produtos agrícolas, Juiz de Fora, MG, Instituto Maria, p. 23-32, 1995.

MAYOR, L.; SERENO, A. M. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. **Journal of Food Engineering**, v.61, p.373-386, 2004.

MCDONALD, T.; CHEN, Y.R. Application of morphological image processing in agriculture: **Transactions of the ASAE**, v.33, n.4, p.1345-1352, 1990.

MCMINN, W.A.M.; MAGEE, T.R.A. Physical characteristics of dehydrated potatoes. **Journal of Food Engineering**, v. 33, n. 1-2, p. 37-48, 1997.

MELO, K. S.; BEZERRA, M. C. T.; FERNANDES, T. K. S.; MARTINS, M. E. D. Determinação das propriedades físicas da semente de mamona. **Revista educação agrícola superior**, v.22, n.2, p.54-58, 2007.

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

NEVES, E.; ALBUQUERQUE, M. C. F.; RODRIGUES, L. C. M. **Variação da morfologia geométrica em sementes de soja e algodoeiro**. Disponível em <<http://www.ufmt.br/agtrop/revista8/doc/11.doc>> Acesso em 10 de out. 2009 as 11:19 horas.

PABIS, S.; JAYAS, D.S.; CENKOWSKI, S. **Grain drying: theory and practice**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1998. 303p.

PRADO, M. M.; SARTORI, D. J. M. Estudo do fenômeno de encolhimento durante a secagem de sementes com diferentes características superficiais. **Revista Universidade Rural**, v. 21, n. 1, p. 11-20, 2002.

PUZZI, D. **Abastecimento e armazenamento de grão**. Campinas, SP: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 2000. 666p.

RATTI, C. Shrinkage during drying of foodstuffs. **Journal of Food Engineering**, v.23, n.1, p.91-105, 1994.

RESENDE O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; RIBEIRO D. M. Propriedades físicas do feijão durante a secagem: determinação e modelagem. **Ciência Agrotécnica**, v. 32, n. 1, p. 225-230, 2008

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; CECON, P. R. Forma, tamanho e contração volumétrica do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) durante a secagem. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.7, n.1, p.15-24, 2005

RIBEIRO, D. M.; CORRÊA, P. C.; RODRIGUES, D. H.; GONELI, A. L. D. Análise da variação das propriedades físicas dos grãos de soja durante o processo de secagem. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.25, n.3, p.611-617, 2005.

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

RUFFATO, S.; CORRÊA, P. C.; MARTINS, J. H.; MANTOVANI, B. H. M.; SILVA, J. N.; Influência do Processo de secagem sobre a Massa Específica Aparente, Massa Específica Unitária e Porosidade de milho-pipoca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.1, p.45-48. 1999.

SANTANA, M. F. S.; BRAGA, M. E. D Parâmetros aerodinâmicos que influenciem na separação de emendoim. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.1, n.1, p.66-72, 1999.

SOKHANSANJ, S.; LANG, W. Prediction of kernel and bulk volume of wheat and canola during adsorption and desorption. **Journal Agricultural Engineering Research**, v.63, n.2, p.129-136, 1996.

SASSERON, J. L. **Características dos grãos armazenados**. Viçosa, MG: CENTREINAR, 1980. 65p.

SILVA, D. J. P. Resistência de café em coco e despolpado ao fluxo de ar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p. 168-174, 2006.

SILVA, J. S. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa: Editora aprenda fácil, 2000. 501p.

SILVA, J. S.; CORRÊA, P. C. **Estrutura, composição e propriedades dos grãos**. In: SILVA, J. S. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**, Viçosa, MG, p. 21-37, 2000.

SILVA, J. S.; LUCENA, E. M. P. **Estrutura, composição e propriedades das sementes**. In: SILVA, J. S. (Ed.). **Pré-processamento de produtos agrícolas**. Juiz de Fora, MG: Instituto Maria, 1995. p. 23-32.

SOKHANSANJ, S.; LANG, W. Prediction of kernel and bulk volume of wheat and canola during adsorption and desorption. **Journal Agricultural Engineering Research**, v.63, n.2, p.129-136, 1996.

SRIVASTAVA, K. A.; GOERING, E. C.; ROHRBACH, P. R. **Engineering principles of agricultural machines**. St. Joseph, Michigan: ASAE, 1993. 601 p.

SOUZA, L. V. S. **Propriedades físicas de grãos de girassol relacionadas a armazenagem**. 2001. 142f Dissertação (Mestrado). UNICAMP – Campinas - SP

TEIXEIRA, E. F. **Análise de imagens digitais na avaliação de plantas de milho**. 2004. 73f. Dissertação (Mestrado) – ESALQ – Piracicaba – SP.

TEIXEIRA, E. F.; CÍCERO, S. M.; DOURADO NETO, D. Noções básicas sobre imagens digitais: captura, processamento e reconhecimento voltados para a pesquisa em tecnologia de sementes. **Informativo ABRATES**, v.13, n.1, p.59-65, 2003.

TEIXEIRA, E. F.; DOURADO NETO, D.; CÍCERO, S. M.; MARTIN, T. N. Análise da uniformidade de sementes de milho via processamento de imagens digitais. **Revista da FZVA**, v.14, n.1, p. 14-24. 2007

TICELLI, M. **Danos mecânicos em sementes de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) colhidas em diferentes estádios de maturação**. 2001. 73f. Dissertação (Mestrado). UNICAMP - Campinas – SP.

TOWNER, G. D. The tensile stress generated in clay through drying. **Journal Agricultural Engineering Research**, v.37, n.4, p.279-289, 1987.

USBERTI, R. Relações entre teste de envelhecimento acelerado, potencial de armazenamento e tamanho de sementes em lotes de amendoim. **Revista Brasileira de Sementes**, v.4, p.31-44, 1982.

VANZOLINI, S.; TORRES, R. M.; PANIZZI, R. C. Efeito do tamanho, da densidade e do tratamento fungicida sobre a qualidade das sementes de amendoim. **Revista Ceres**, v.47, n. 274, p.603-612, 2000.

VIEIRA JÚNIOR, P. A. **Emprego da técnica de análise de imagens na determinação do comprimento e da largura de sementes de milho**. 1998.153f. Dissertação (Mestrado) – ESALQ – Piracicaba – SP.

ZANINI, H. L. H. T.; DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; PIMENTEL, L. W. Influência do tamanho e da forma da coluna de queda na velocidade terminal de grãos de milho e feijão. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.10, n.1, p.53-61, 2008.

CAPÍTULO II

HIGROSCOPICIDADE DE SEMENTE DE AMENDOIM (*Arachis hypogaea* L.)

WANDERLEY JÚNIOR, José Sales Alves. **Higroscopicidade de semente de amendoim** (*Arachis hypogaea* L.). Campina Grande. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, 2010. 29 f. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola – Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas)

RESUMO

O teor de água de equilíbrio das sementes deve ser avaliado a partir de diversos ângulos, levando-se em consideração principalmente as condições ambientais e a sua composição química. No armazenamento o equilíbrio higroscópico é um dos principais responsáveis pela conservação ou pela deterioração das sementes. O objetivo desta pesquisa consiste em determinar as isotermas de equilíbrio higroscópico de sementes de amendoim sob condições controladas, para uma faixa de temperatura entre 10 e 40°C e umidade relativa entre 5 e 87%. O experimento foi conduzido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas da UFCG. Os teores de água de equilíbrio das sementes de amendoim foram determinados por meio do método estático. Para estabelecer as umidades relativas utilizou-se soluções ácidas em água destilada e soluções saturadas de sais. Os teores de água de equilíbrio foram obtidos quando observou-se pequenas variações da perda de massa das sementes. Os teores de água de equilíbrio das sementes de amendoim foram determinados pelo método de estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ durante 24 horas, com resultados expressos em base seca (%). Para determinação dos coeficientes das isotermas de equilíbrio higroscópico das sementes de amendoim, utilizaram-se os modelos de Henderson modificado por Cavalcanti Mata, Oswin, Chung e Pfof e GAB, através de análises de regressão não linear. As equações testadas, com exceção de Oswin, representaram satisfatoriamente os dados experimentais. Os modelos de GAB e Henderson modificado por Cavalcanti Mata são eficientes para descrever a higroscopicidade das sementes de amendoim em função da temperatura e da umidade relativa, os quais obtiveram tendências aleatórias na distribuição de resíduos e o menores valores para o erro relativo.

Palavras-chave: Teor de água, modelos matemáticos, temperatura

WANDERLEY JÚNIOR, José Sales Alves. **Hygroscopicity of peanut seeds (*Arachis hypogea* L.)**. Campina Grande. UFCG, 2010. 29 sh. (Master Degree Essay in Agricultural Engineering – Storage and Processing of Agricultural Products).

ABSTRACT

Storage process of agricultural products, specifically of seeds, is composed by technical procedures extremely severe, so these products should be at guaranteed physiological quality to new areas forming. Factors as temperature, air humidity and water mean should be observed in a systematic way, these ones can develop good or bad processes to seeds. This research had the aim to evaluate physiological quality of peanut seeds by germination test and determination vigour as well as water mean, during 6 months of storage, upon controlled condition of water and air humidity. The experiment was carried out at the Laboratory Processing at UFCG. Water mean of seeds was determined by greenhouse method at $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ during 24 hours, with expressed results in a dry basis (%). Germination test was carried out in a laboratory using germitest paper. The first count was done at five days after seedling and final evaluation at ten days. Vigour test was conducted, using percentage of normal small plants which were given by chance of the first count on germination test. Water mean of peanut seeds varies in function of air humidity, temperature and storage time. Peanut seeds lost its germinative power on time in high air humidity areas and high temperature. Peanut seeds shows at 0% (zero) during time and it has direct relation with fungi during storage.

Keywords: Germination, vigour, oil seeds

1. INTRODUÇÃO

Os materiais de origem biológica são caracterizados por um fenômeno que desencadeia a capacidade dos mesmos realizarem trocas de umidade seja no contexto de adsorção ou dessorção de água nos mais diferentes ambientes, fenômeno este denominado de equilíbrio higroscópico. O teor de água de equilíbrio é definido como a quantidade de massa de água que o produto contém quando é submetido a determinada condição controlada de temperatura e umidade do ar por um determinado tempo (CAVALCANTI MATA, 1997).

Nesse sentido o teor de água de equilíbrio das sementes deve ser avaliadas a partir de diversos ângulos, levando-se em consideração principalmente as condições ambientais e a sua composição química. Grãos com alto teor de óleo na sua composição absorvem menos água do que aqueles produtos com a composição rica em amido (BROOKER, 1992). Nas sementes de amendoim o fenômeno da higroscopicidade deve ser avaliado cuidadosamente, levando-se em consideração sua composição química, rica em óleo, em função das condições ambientais de armazenamento.

No armazenamento o equilíbrio higroscópico é um dos principais responsáveis pela conservação ou pela deterioração das sementes. O alto teor de água nas sementes armazenadas causa uma série de processos físicos, químicos e biológicos os quais serão responsável pela perda na viabilidade da semente e conseqüentemente insucesso no armazenamento. Caso as sementes sejam armazenadas com teores de água acima dos padrões estabelecidos, está sofrerá altos índices de deterioração visto que a água liberada no lote de semente facilitará a ocorrência de fungos e outros microrganismos os quais serão os responsáveis diretos pelos danos.

Para uma determinada temperatura, a relação entre a quantidade de água contida no produto e a correspondente umidade relativa, pode ser expressa através das curvas de "isotermas de equilíbrio" (CAVALCANTI MATA, 1997). O conhecimento das isotermas de equilíbrio higroscópico é importante para definir limites de desidratação do produto, estimar mudanças de teor de água sob determinadas condições de temperatura e umidade relativa do ar e definir valores de teor de água favoráveis ao desenvolvimento de patógenos (HALL, 1971).

Os pontos de uma curva de isoterma são determinados de forma experimental, podendo ser apresentadas de duas formas: isotermas de adsorção, que corresponde ao ganho de água; isotermas de dessorção, que corresponde a perda de água.

A relação entre o teor de água de um produto e a umidade relativa de equilíbrio, em determinadas condições de temperatura, pode ser expressa por equações matemáticas (PALACIN et al., 2006). O uso desses modelos é de suma importância, tanto no armazenamento quanto na secagem. Devido às variações contínuas de temperatura e umidade relativa do ar, ocorrem mudanças na umidade de equilíbrio sendo necessário, portanto, o seu cálculo inúmeras vezes e facilitados com o auxílio dos modelos matemáticos (ALMEIDA et al., 2004)

O objetivo desta pesquisa consiste em determinar as isotermas de equilíbrio higroscópico de sementes de amendoim sob condições controladas, para uma faixa de temperatura entre 10 e 40°C e umidade relativa entre 5 e 87%.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Equilíbrio Higroscópico

Entende-se por equilíbrio higroscópico o teor de água no qual a pressão de vapor d'água no produto é igual a pressão de vapor d'água que o envolve (SOKHANSANJ & YANG, 1996). Um conceito mais elaborado é descrito por teor de água de equilíbrio que é o teor de água que o produto atinge quando deixado por um tempo suficientemente longo em determinada condição de temperatura e umidade relativa do ar que o envolve. Nesta condição, a pressão de vapor da água na superfície do produto é igual à pressão de vapor da água contida no ar. O teor de água do produto, quando em equilíbrio com o ambiente, é denominado de teor de água de equilíbrio ou equilíbrio higroscópico (SILVA, 1995; BROOKER et al., 1992; CAVALCANTI MATA et al., 2006).

Quando ocorre uma mudança na umidade relativa de um ambiente a pressão de vapor da água no ar também sofre alterações, aumentando esta com o aumento da umidade relativa. Assim, para cada umidade relativa corresponde um teor de água de equilíbrio, para um produto considerado, numa determinada temperatura. A temperatura exerce efeitos significativos sobre o valor do teor de água de equilíbrio (BENEDETTI, 1987). Um aumento de temperatura, a umidade relativa constante, diminui o valor do teor de água de equilíbrio (BROOKER et al., 1974).

Todos os produtos agrícolas têm a capacidade de eeder ou absorver água do ambiente, convergindo, constantemente, a manter uma relação de equilíbrio entre o seu teor de água e as condições do ar ambiente (RESENDE et al., 2008).

Materiais biológicos, como grãos, sementes e alimentos, possuem a característica de serem higroscópios, pois, entre estes e o ar são estabelecidos trocas de água, principalmente na forma de vapor, onde sobre as superfícies dos produtos são estabelecidos micro climas, que têm suas situações de estado influenciadas principalmente pelo teor de água dos produtos (SILVA, 1995).

O conhecimento de isotermas do teor de água de equilíbrio higroscópico das sementes é essencial por estarem diretamente ligadas ao armazenamento, secagem e comercialização (ROA & ROSSI, 1977; CAVALCANTI MATA, 1997).

Em estudos realizados CORRÊA & ALMEIDA (1999) enfatizam a importância do conhecimento da higroscopicidade que define as curvas que, por sua vez, descrevem a

quantidade de água sorvida e dissolvida a determinada temperatura, denominada isoterma de equilíbrio higroscópico. Os mesmos autores afirmam a necessidade do conhecimento e da metodologia de obtenção de dados experimentais de equilíbrio higroscópico para produtos agrícolas, devido à sua importância e aplicações no campo da secagem, armazenagem e manipulação desses produtos.

De acordo com a relação entre o teor de água de um determinado produto e a umidade relativa de equilíbrio para uma temperatura específica pode ser expressa por equações matemáticas, que são denominadas isotermas ou curvas de equilíbrio higroscópico (CORRÊA et al., 2005)

As curvas de teor de água de equilíbrio podem ser obtidas experimentalmente por meio dos métodos dinâmico e estático. No método dinâmico, o grão é submetido a fluxos de ar sob condições controladas e fixas de temperatura e umidade relativa até que seja atingido o equilíbrio. No método estático o equilíbrio higroscópico entre o produto e o ambiente sob condições controladas, é atingido sem movimentação do ar, e pode levar, de uma maneira geral, um período de tempo entre 15 a 40 dias, dependendo do produto. (CAVALCANTI MATA et al., 2006; RESENDE et al., 2008)

Após estudos RESENDE et al. (2008) concluíram que o teor de água de equilíbrio higroscópico do feijão é diretamente proporcional à umidade relativa do ar e decresce com o aumento de temperatura, para uma mesma umidade relativa, seguindo a mesma tendência da maioria dos produtos agrícolas já estudados.

Por serem altamente higroscópicas, as sementes têm comportamento diferenciado nas isotermas de sorção. Sementes ricas em óleo apresentam graus de umidade de equilíbrio mais baixos em relação às sementes amiláceas, quando armazenadas em condições ambientais semelhantes, pois absorvem menos água, por serem hidrófobas (BROOKER et al., 1992). Resultados semelhantes foram obtidos por BENEDETTI & JORGE (1987) em sementes de amendoim (alto teor de lipídios), que apresentaram menor umidade de equilíbrio comparativamente às sementes de arroz, milho, soja e trigo, a uma mesma temperatura.

2.2. Teor de água

O teor de água se refere à quantidade de água mantida pela semente, sendo esta função da umidade relativa do ar e da temperatura do ambiente. Os grãos devem ser frequentemente submetidos a determinações dos seus níveis de teor de água, desde a colheita até o armazenamento, buscando sempre a exatidão já que esse é o principal parâmetro que governa a qualidade do produto armazenado (PUZZI, 2000; ALMEIDA et al., 2003).

O teor de água de um material biológico é de grande importância, tanto para a sua armazenagem, quanto para o seu próprio manejo. Como muitos produtos agrícolas, são armazenados por longos períodos de tempo, logo após a colheita, é necessário proceder à secagem de tais produtos visando à sua conservação, durante o período de armazenamento. Para promover as condições adequadas de umidade para um produto, é necessário o conhecimento do seu teor de água de equilíbrio com relação ao seu ambiente de armazenamento (YOUNG & NELSON, 1967).

A determinação da atividade de água é uma das medidas mais importantes no processamento e na análise dos materiais biológicos, devido a sua importância no que diz respeito à qualidade e estabilidade (ALMEIDA et al., 2003)

O fenômeno da higroscopicidade está intimamente ligado ao teor de água contido nas sementes. ALMEIDA et al. (2006) cita que não é recomendado a armazenagem de sementes com teor de água acima de 12 a 13%, em climas tropicais, pois pode causar problemas de conservação. Este fato ocorre devido ao processo de oxidação dos compostos (carboidratos) das sementes que em contato com o oxigênio (O_2) do ar libera gás carbônico (CO_2) e água (H_2O), e como resultado libera calor, ocorrendo o processo de deterioração.

Quando o teor de água da semente aumenta a temperatura da massa dessa semente aumenta e os insetos, fungos e bactérias presentes dentro e fora da semente desenvolvem-se rapidamente, porque as condições lhes são favoráveis. Sendo necessário que se utilizem todas as medidas para manter baixo teor de água das sementes, e assegurar assim sua conservação no seu espaço de armazenamento. Deste modo, as elevações da temperatura das sementes armazenadas acima da que tinham no início do período de armazenamento é um sinal de deterioração (ALMEIDA et al., 2006).

O controle da umidade relativa do ar sobre o teor de água das sementes decorre do fato de que essas são higroscópicas, absorvendo e perdendo umidade para o ar ambiente, até

entrarem em equilíbrio higroscópico, quando a pressão de vapor da água nas sementes é igual à pressão de vapor da água no ar (CAPPELLARO, 1993).

2.3. Modelos matemáticos

A modelagem matemática é essencial à predição e simulação do comportamento de materiais submetidos a determinados processos (RATTI, 1994; SOKHANSANJ e LANG, 1996). Segundo RAMOS et al. (2005) e CARMO & LIMA (2004) todos os fenômenos devem ser incluídos nos modelos, a fim de obter uma completa descrição e análise do processo.

De acordo com CAVALCANTI MATA et al. (2006) um número considerável de equações teóricas, semi-teóricas e empíricas tem sido proposto para o cálculo do teor de água de equilíbrio de produtos como sementes. O uso desses modelos é de suma importância tanto no armazenamento quanto na secagem, os quais devido às variações contínuas de temperatura e umidade relativa do ar em contato com o produto ocorrem mudanças no teor de água de equilíbrio sendo necessárias, portanto, cálculos constantes (ALMEIDA et al., 2004)

Em estudos CORRÊA & ALMEIDA (1999) após revisarem trabalhos sobre modelos matemáticos, concluíram que, apesar dos esforços empregados pela pesquisa nesta área, nenhum modelo teórico desenvolvido até o presente é capaz de prever exatamente o teor de água das sementes, para todas as faixas de temperatura e umidade relativa do ar e que nem todos os modelos consideram a temperatura como parâmetro, razão pela qual têm sido propostas modificações para diversas equações e, neste caso, a faixa de precisão é substancialmente aumentada.

Considerando a importância e as diversas ampliações no campo da secagem, na armazenagem e no manuseio de produtos agrícolas, tem-se empregado esforços para obtenção de modelos matemáticos que expressem o teor de água de equilíbrio para os diversos produtos agrícolas *in natura* ou processados, em função da temperatura e da umidade relativa do ar (CORRÊA & ALMEIDA, 1999).

2.3.1. Henderson modificado por Cavalcanti Mata

De acordo com estudos realizados CAVALCANTI MATA (1997b) propôs uma modificação na equação de Henderson modificada por Tompson sugerindo que o coeficiente que corrige a temperatura não seja de ordem linear, como consta na equação mas, sim de ordem potencial, chegando a seguinte equação:

$$X_e = \{\ln(1 - UR) / [-a(T^b)]\}^{1/c} \quad (II. 1)$$

X_e - teor de água de equilíbrio, base seca

UR - umidade relativa, decimal

a, b e c - parâmetros que dependem da natureza do produto

T - temperatura, °C

Em estudos realizados ALMEIDA et al. (2000) relata que a equação de Henderson modificada por Cavalcanti Mata, com coeficiente de 99,7% foi a que melhor se ajustou aos dados experimentais, para determinar o teor de água de equilíbrio higroscópico das sementes de algodão com linter e sem linter, em função da temperatura e da umidade relativa do ar.

2.3.2. Modelo de Oswin

A equação de Oswin fundamenta-se na expansão da série de Pearson para curvas com forma sigmoideal, se ajusta muito bem entre $0,0 < a_w < 1,0$. BOQUET et al. (1978) citado por FIGUEIREDO (1998) utilizaram essa equação para trinta e nove produtos sendo adequado para alimentos com alto conteúdo de amido, é considerada uma das mais versáteis equações de dois parâmetros testadas.

$$X_e = (d + eT) / [(1 - UR) / UR]^{1/f} \quad (II. 2)$$

d, e, e f – parâmetros que dependem da natureza do produto

2.3.3. Modelo de Chnng e Pfof

Em 1967, Chung e Pfof desenvolveram uma equação empírica deserita da seguinte forma:

$$X_e = g - h \ln[-(T + i) \ln(UR)] \quad (\text{II. 3})$$

onde

g, h e i - parâmetros que dependem da natureza do produto;

2.3.4. Modelo de GAB

A equação de GAB (desenvolvida por Guggenheim, Anderson e de Bôer), é uma extensão das teorias de Langmuir e de BET, possui os dois parâmetros de ajuste da equação anterior e introduz um terceiro parâmetro (k), onde permite ajustar dados de sorção de produtos agrícolas até atividade de água 0,9, sendo escrita como:

$$X_e = \frac{C k X_m UR}{(1 - k UR)(1 - k UR + C k UR)} \quad (\text{II. 4})$$

$$C = C_o \exp\left(\frac{\Delta H_m}{RT}\right) \quad (\text{II. 5})$$

$$k = k_o \exp\left(\frac{\Delta H_{ic}}{RT}\right) \quad (\text{II. 6})$$

C e k = são constantes de adsorção relacionadas com as interações de energia entre a água e o produto, para $k = 1$, a equação fica reduzida à equação de BET;

C_o, k_o = parâmetros que dependem da temperatura e natureza do produto;

R = constante universal dos gases, $8.314,41 \text{ kg.m}^2.\text{s}^{-2} \text{ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$;

T = temperatura, K ou °C.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nos Laboratórios de Análise de Sementes e de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

Os teores de água de equilíbrio das sementes de amendoim foram determinados por meio do método estático (Figura 2.1). As sementes foram acondicionadas em recipientes herméticos, com capacidade de 2,5 litros, onde no seu interior foram estabelecidas as umidades relativas. Para estabelecer baixas umidades relativas entre 4,1% a 12,5%, utilizou-se soluções ácidas, de acordo com a metodologia citada CAVALCANTI MATA et al. (2006) e soluções salinas, de acordo com a metodologia citada por GREENSPAN (1977) para uma faixa de umidade relativa entre 31,6% e 86,77%, Tabela 1 do capítulo anterior.



Figura 2.1. Recipiente hermético contendo as soluções salinas e ácidas com as sementes suspensas no seu interior para obtenção das umidades de equilíbrio desejadas.

Os teores de água de equilíbrio foram obtidos quando observou-se pequenas variações da perda de massa das sementes. As avaliações foram realizadas aos 30, 60 e 90 dias. Para realizar as análises mensais utilizou-se uma repetição de cada umidade relativa nas quatro temperaturas (1 x 5 x 4) totalizando 20 amostras.

Para cada condição ambiental estabelecida, acompanhou-se o comportamento das amostras de amendoim através da variação da massa, onde as mesmas foram pesadas antes do armazenamento e pesadas no momento da retiradas das amostras para serem realizadas as análises mensais.

Os teores de água de equilíbrio das sementes de amendoim foram determinados pelo método de estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ durante 24 horas, utilizando-se 03 repetições para cada amostra, conforme prescrições das Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). Os resultados foram expressos em base seca (%), mediante a Equação II. 7

$$X_e = \frac{m_{\text{água}}}{m_{\text{seca}}} \times 100 \quad (\text{II. 7})$$

onde:

X_e – umidade de equilíbrio, %, base seca

$m_{\text{água}}$ – massa de água da amostra, g

m_{seca} – massa seca da amostra, g.

Para determinação dos coeficientes das isotermas de equilíbrio higroscópico das sementes de amendoim, utilizaram-se os modelos de Henderson modificado por Cavalcanti Mata (II.1), Oswin (II.2), Chung e Pfof (II.3) e GAB (II.4). Utilizaram-se análises de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton e critério de convergência de 0,0001, com auxílio do programa computacional Statistica versão 5.0

O grau de ajuste do modelo aos dados experimentais baseou-se no coeficiente de correlação (R^2), na análise da distribuição dos resíduos e no erro médio relativo (P), conforme descrito no capítulo anterior.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos experimentalmente, Tabela 2.1, representam os teores de água de equilíbrio em função da umidade relativa do ar e da temperatura, para sementes de amendoim, com 90 dias de acondicionadas, onde observou-se ter atingido o equilíbrio higroscópico das sementes de amendoim. De acordo com CAVALCANTI MATA, et al. (2006), o ponto de equilíbrio é quando as pressões de vapor de água na superfície das sementes e no ar são iguais. Nesse ponto, o produto troca água com o ar que o envolve em igual proporção. Segundo o mesmo autor, o conceito de equilíbrio não significa igualdade no teor de água no produto e no ar, ao contrário, as sementes possuem, aproximadamente, 10.000 vezes mais água do que o ar quando estão em equilíbrio.

A partir dos valores da Tabela 2.1, observa-se que o teor de equilíbrio (X_e) aumentou com o aumento da umidade relativa do ar, fato este também observado na maioria dos produtos agrícolas (CORRÊA et al., 2005; PALACIN et al., 2006; GONELI et al., 2007). O teor de água de equilíbrio varia com as mudanças de temperatura, e observa-se que o mesmo diminui com a umidade relativa e que entre as temperaturas quanto maior a temperatura menor os valores de teor de água de equilíbrio (SILVA et al., 2005). Observou-se que a umidade relativa influenciou de forma direta os valores do teor de água de equilíbrio, para todas as temperaturas estudadas. O que nos leva a concluir que altos valores de umidade relativa podem influenciar de forma negativa, deteriorando o produto. Enquanto que valores menores e intermediários de umidade relativa podem influenciar de forma positiva, ou seja, sendo mais favoráveis na conservação das sementes de amendoim.

Observa-se que para a umidade relativa de 0,6215 os valores do teor de água de equilíbrio variaram entre 5,16 e 8,07%(b.s.) nas temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C. Sendo essa condição a que obteve menor oscilação dos valores de umidade de equilíbrio quando comparados a condição inicial de armazenamento de 8,67% (b.s.). Verifica-se que para as umidades relativas entre 0,54 e 0,3347% ocorreu uma diminuição dos valores do teor de água de equilíbrio, quando comparados ao valor de implantação, fenômeno este denominado de dessecção. Para as umidades relativas entre 0,7567 e 0,8677% houve um aumento nos valores do teor de água, onde pode-se observar que esse aumento ocorreu de forma menos acentuada nas temperaturas elevadas. Para uma determinada temperatura, a relação entre a quantidade de água contida no produto e a correspondente umidade relativa de equilíbrio ou atividade de água, pode ser expressa através das curvas de “isotermas de equilíbrio”, por meio de pontos

que são determinados de forma experimental, e apresentadas de duas formas: isotermas de adsorção, aumento de peso devido ao ganho de água, e isotermas de dessorção, perda de peso do produto causada pela saída de água (CAVALCANTI MATA et al., 2006)

Sementes de arroz, milho e soja alcançam o equilíbrio em ambiente com 75% de umidade relativa, a um teor de água de 13 a 15%; por outro lado, sementes de algodão, linho e amendoim alcançam o equilíbrio higroscópico com teores de água de 9 a 11% para a mesma umidade relativa. Em geral, o equilíbrio higroscópico das sementes oleaginosas é mais baixo do que o das amiláceas ou as de alto conteúdo protéico, sob as mesmas condições de umidade relativa e temperatura (BENEDETTI & JORGE, 1987).

A partir de resultados obtidos BENEDETTI (1987), verificou que existe uma tendência para produtos com alto teor de lipídeos em sua constituição, caso do amendoim, apresentar teor de água de equilíbrio menor que outros produtos para uma mesma umidade relativa. Segundo BROOKER et al. (1992), grãos com elevado teor de óleo adsorvem menor quantidade de água do ambiente do que os grãos com alto teor de amido.

De acordo com os resultados experimentais podemos afirmar que o armazenamento de sementes de amendoim deve ser realizado em condições controladas de temperatura e baixas condições de umidades relativas, como forma de manter sua qualidade fisiológica. De acordo com CORRÊA et al. (2005) o gráfico das isotermas de sorção pode ser empregado, também, para definir as épocas mais adequadas para o armazenamento de sementes nas diversas regiões do país, levando-se em consideração dados de temperatura e umidade relativa.

Tabela 2.1. Valores experimentais do teor de água de equilíbrio (X_e) de sementes de amendoim sob condições controladas de umidades relativas e temperaturas, aos 90 dias de armazenamento.

Umidade de equilíbrio (% , b.s.)							
Temperatura (°C)							
10		20		30		40	
UR	X_e	UR	X_e	UR	X_e	UR	X_e
0,054	2,43	0,041	1,68	0,1	1,85	0,125	1,19
0,334	5,47	0,331	4,78	0,324	4,31	0,316	3,34
0,621	8,07	0,591	6,91	0,560	6,06	0,531	5,16
0,756	12,58	0,7544	10,12	0,751	9,52	0,746	8,76
0,867	17,25	0,851	14,71	0,836	13,09	0,823	11,13

UR – Umidade relativa do ar, decimal; X_e – Teor de água de equilíbrio, base seca; Teor de água inicial = 8,67% (b.s.)

Na Tabela 2.2, estão apresentados os parâmetros estimados para os modelos de Henderson modificado por Cavalcanti Mata, Oswin, Chung e Pfof e GAB para isotermas de equilíbrio higroscópico das sementes de amendoim, em diferentes condições de temperatura e umidade relativa do ar.

Analisando os resultados apresentados na Tabela II. 2, observa-se que os modelos matemáticos utilizados para descrever o teor de água de equilíbrio do amendoim, visto que os coeficientes de determinação (R^2) foram superior a 94%, exceto para o modelo de Oswin que apresentou coeficiente de determinação de 70%, Figuras 2.2 a 2.5. Este fato é semelhante ao observado por ALMEIDA et al. (2003), que ao estudarem a higroscopicidade de vagens de algaroba, observou que o modelo de Oswin apresentou erros relativos de 16,7%, indicando uma menor representação dos dados experimentais. No entanto, esta afirmativa é discordante da de BOENTE et al. (1996), que, determinando o teor de água de equilíbrio de grãos de milho de seis variedades argentinas observaram que o modelo de Oswin descreveu satisfatoriamente o fenômeno de higroscopicidade do produto.

Observa-se na Tabela 2.2, que os modelos de Henderson modificado por Cavalcanti Mata, GAB e Chung e Pfof se ajustaram bem aos dados experimentais com coeficientes de determinação de 97,0; 97,1 e 94,7 %, respectivamente. Enquanto que o modelo de Oswin não se ajustou satisfatoriamente aos dados experimentais. CORRÊA et al. (2005) e SUN & WOODS (1994) relatam que o modelo de Chung e Pfof foi o mais recomendado para predição do equilíbrio higroscópico dos grãos de trigo. Resultados semelhantes foram obtidos por CORRÊA et al. (1998) ao ajustarem diversos modelos matemáticos aos dados experimentais de equilíbrio higroscópico das sementes de milho pipoca, observaram que o modelo de Chung e Pfof mostrou-se adequado para representação do fenômeno. GONELI et al. (2007), durante a determinação do equilíbrio higroscópico de grãos de arroz em casca, observaram dentre diversos modelo testados que Chung e Pfof se ajustou satisfatoriamente aos dados experimentais obtidos pelo método estático.

Em estudos realizados PENA et al (2000), relatam que as equações de dois parâmetros são mais utilizadas por serem de fácil solução matemática, enquanto que as equações de três ou mais parâmetros quase sempre dão melhores resultados na predição, mas apresentam o inconveniente de serem de difícil solução matemática, necessitando, algumas vezes, de programas computacionais complexos.

Ainda na Tabela 2.2, Figuras 1B a 4B do Apêndice, verifica-se que, dentre as equações testadas, os modelos de Henderson modificado por Cavalcanti Mata e GAB

apresentaram distribuição aleatória dos resíduos, indicando ajuste mais adequado aos dados experimentais. Os mesmos exibiram maiores coeficiente de determinação e menores erros relativos, sendo recomendado para predição do equilíbrio higroscópico de sementes de amendoim. Enquanto que os modelos de Oswin e Chung e Pfof apresentaram distribuição tendenciosa dos resíduos e maiores erros relativos de 19,73 e 9,48%, respectivamente, o que nos leva a enunciar que esses modelos são menos indicados para descrever a relação de higroscopicidade de sementes de amendoim.

Resultados distintos foram obtidos por CHEN (2000) e CHEN & MOREY (1989), que recomendam o modelo de Halsey Modificado para estimar o equilíbrio higroscópico de grãos de amendoim. OLIVEIRA et al. (2004), recomendaram os modelos de Henderson modificado e Oswin Modificado para a descrição da higroscopicidade do feijão macassar verde. ALMEIDA et al. (2000) observou que a equação de Henderson modificado por Cavalcanti Mata, para sementes de algodão com e sem linter, foi a que melhor se ajustou aos dados experimentais, com coeficientes de determinação de 99,7%.

Embora várias teorias tenham sido propostas para prever o comportamento higroscópico de produtos biológicos, na maioria das vezes as relações matemáticas empíricas se têm apresentado como melhores opções para prever o fenômeno, vez que nenhum modelo teórico desenvolvido foi capaz, até o momento, de prever com precisão o teor de água de equilíbrio desses produtos para todas as faixas de temperatura e umidade relativa (BROOKER et al., 1992).

Tabela 2.2. Parâmetros dos modelos de isothermas de equilíbrio higroscópico para sementes de amendoim, acondicionada sob condições controladas de temperatura e umidade relativa, e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), erros relativos (P) e tendência de distribuição de resíduos.

Modelos	Parâmetros	R^2 (%)	P (%)	Tendência
Henderson modificada por Cavalcanti Mata	a = 0,0260 b = 0,3510 c = 1,2532	97,02	7,85	Aleatória
	d = 0,1957			
Oswin	e = -0,0019 f = 0,0592	70	19,73	Tendenciosa
Chung e Pfof	g = 19,9409 h = 4,1527 i = 13,3684	94,7	9,49	Tendenciosa
GAB	C = 0,0528 exp(-106,793/8314,41 T) K = 1,0468 exp(4,39998/8314,41 T)	97,1	7,87	Aleatória

a, b, c, d, e, f, g, h, i, k – Coeficientes que dependem da natureza do produto

Ao analisar-se todas as figuras, pode-se observar, que o ajuste da curva da superfície de resposta apresentou o mesmo comportamento para todos os modelos testados, onde a medida que a umidade relativa aumentou, houve também aumento nos valores do teor de água de equilíbrio. Comportamento este observado para todas as temperaturas estudadas.

Modelo de Henderson modificado por Cavalcanti Mata

$$X_e = [\ln(1-UR) / -0,0252 T^{0,358}]^{0,7944} \quad R^2 = 97,02\%$$



Figura 2.2 Isotermas de equilíbrio higroscópico ajustadas pelo modelo de Henderson modificado por Cavalcanti Mata para sementes de amendoim acondicionadas sob condições controladas de temperatura e umidade relativa utilizando-se análise de regressão não linear pelo método Quasi-Newton.

Modelo de Oswin

$$X_e = (0,1958 - 0,002 T) / 1 - a_w / a_w^{1/0,0592} \quad R^2 = 70\%$$

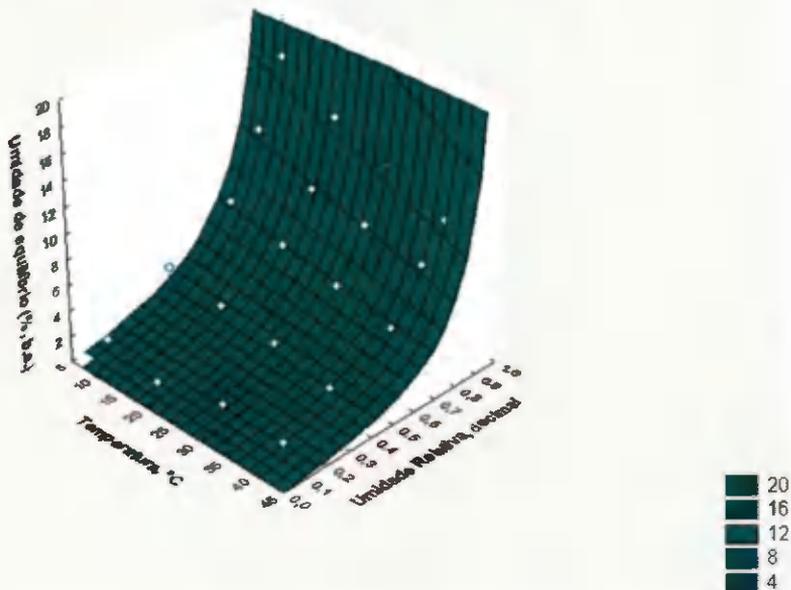


Figura 2.3 Isotermas de equilíbrio higroscópico ajustadas pelo modelo Oswin para sementes de amendoim acondicionadas sob condições controladas de temperatura e umidade relativa utilizando-se análise de regressão não linear pelo método Quasi-Newton.

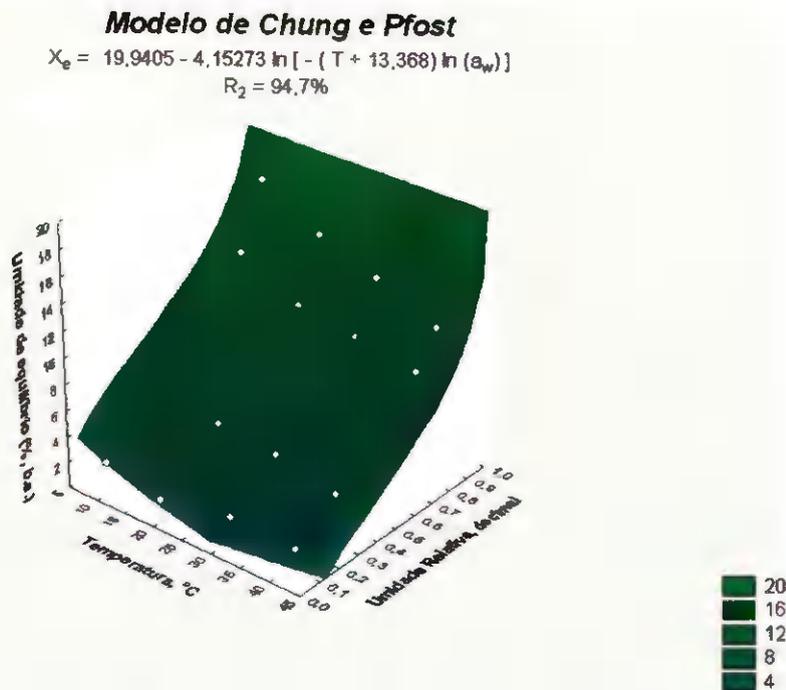


Figura 2.4 Isotermas de equilíbrio higroscópico ajustadas pelo modelo Chung e Pfost para sementes de amendoim acondicionadas sob condições controladas de temperatura e umidade relativa utilizando-se análise de regressão não linear pelo método Quasi-Newton.

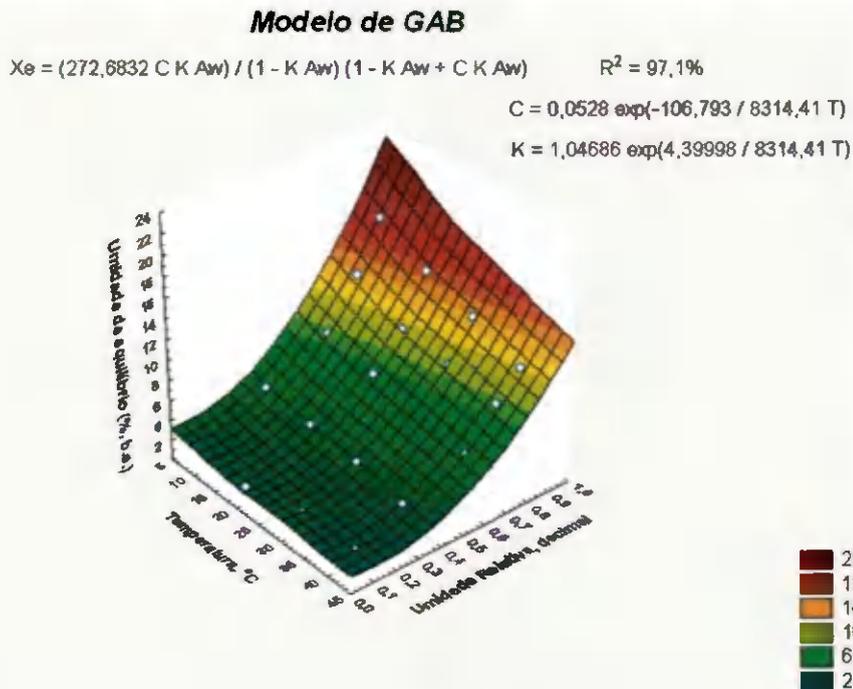


Figura 2.5 Isotermas de equilíbrio higroscópico ajustadas pelo modelo GAB para sementes de amendoim acondicionadas sob condições controladas de temperatura e umidade relativa utilizando-se análise de regressão não linear pelo método Quasi-Newton.

5. CONCLUSÕES

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

Todas as equações testadas, com exceção de Oswin, representaram satisfatoriamente os dados experimentais;

Os modelos de GAB e Henderson modificado por Cavalcanti Mata são eficientes para descrever a higroscopicidade das sementes de amendoim em função da temperatura e da umidade relativa, os quais apresentaram coeficientes de determinação de 97,1 e 97,02% respectivamente;

Os modelos de GAB e Henderson modificado por Cavaleanti Mata tiveram tendências aleatórias na distribuição de resíduos e o menores valores para o erro relativo de 7,87 e 7,85%, respectivamente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. A. C.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; CORRÊA, P. C. isotermas de adsorção e calor latente de vaporização de sementes de algodão, com e sem linter. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v.4, n.3, p.225-234, 2000.

ALMEIDA, F. A. C.; SILVA, J. E.; ARAÚJO, M. E. R.; GOUVEIA, J. P. G.; ALMEIDA, S. A. Componentes químicos e estudo da umidade de equilíbrio em vagens de algaroba. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.5, n.1, p.43-50, 2003.

ALMEIDA, F. A. C.; GOUVEIA, J. P. G.; ARAÚJO, M. E. R.; SILVA, F. L. H.; ALMEIDA, S. A. Comparação de modelos matemáticos de calor isostérico de dessecamento em polpa de goiaba. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.29, n.1, p.28-34, 2004.

ALMEIDA, F. A. C.; DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. **Teor de água na semente e sua relação com a tecnologia do armazenamento**. In: ALMEIDA, F. A. C.; DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M (Org.). Tecnologia de armazenagem em sementes. 1 ed. Campina Grande, PB: UFCG, 2006, p. 147-188.

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. 399p.

BOENTE, G.; GONZÁLEZ, H. H. L.; MARTÍNEZ, E.; POLLIO, M. L.; RESNIK, S. L. Sorption isotherms of corn – study of mathematical models. **Journal of Food Engineering**, v.29, p.115-128, 1996.

BENEDETTI, B. C. **Influência do teor de umidade sobre propriedades físicas de vários grãos**. Campinas:UNICAMP, 1987.125p. (Mestrado em Engenharia Agrícola).

BENEDETTI, B. C.; JORGE, J. T. Curvas de umidade de equilíbrio de vários grãos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.7, p.172-188, 1987.

BROOKER, D. B.; BAKKER-ARKENA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds**. New York: AVI, 1992. 450p.

BROOKER, D. A. BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. **Drying cereal grains**. Westport, Conn., AVI Pub., 1974, 265p.

CAPPELLARO, C.; BAUDET, L.; PESKE, S.; ZIMMER, G. Qualidade de sementes de feijão armazenadas em embalagens plásticas resistentes a trocas de umidade. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 15, no 2, p. 233-239, 1993.

CARMO, J. E. F.; LIMA, A. G. B. Drying of lentils including shrinkage: a numerical simulation. In: **Proceeding of the 14th International Drying Symposium (IDS 2004)**. São Paulo, Brazil, 2004. v.A, p.510-517.

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 “earioca”: Avaliação experimental, modelagem e simulação**. 1997. 229f. Tese de Doutorado. UNICAMP Campinas – SP.

CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; ALMEIDA, F. A. C. ; DUARTE, M. E. M. **Secagem de sementes**. In: ALMEIDA, F. A. C; DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. (Org.). **Tecnologia de armazenagem em sementes**. 1 ed. Campina Grande, PB: UFCG, 2006, v. 1, p. 271-370.

CHEN, C. A rapid method to determine the sorption isotherms of peanuts. **Journal Agricultural Engineering Research**, v. 75, p. 401-408, 2000.

CHEN, C.; MOREY, R. V. Comparison of four EMC/ERII equations. **transaction of the asae, St. Joseph**, v. 32, n. 3, p. 983-990, 1989.

CORRÊA, P. C.; ALMEIDA, F. de A.C. Comparação de modelos matemáticos de equilíbrio higroscópico para semente e fibra de algodão herbáceo, cultivar redcnção. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, PB, v.3, n.1, p.1-6, 1999.

- CORRÊA, P. C.; CHRIST, D.; MARTINS, J. H.; MANTOVANI, B. H. M. Curvas de dessecção e calor latente de vaporização para as sementes de milho pipoca (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.1, p.75-79, 1998.
- CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; RESENDE, O.; RIBEIRO, D. M. Obtenção e modelagem das isotermas de dessecção e do calor isostérico de dessecção para grãos de trigo, **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.7, n.1, p.39-48, 2005.
- FIGUÊIREDO, R.M.F. de. **Caraeterização físico-química do suco e pó de acerola (*Malpighia punucifolia*, L.).** 1998. 184f. (Tese de Doutorado). UNICAMP Campinas, SP.
- GONELI, A. L. D.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; NOGUEIRA, B. L.; BOTELHO, F. M. Modelagem matemática do equilíbrio higroscópico dos grãos de arroz em casca obtidos pelos métodos estático e dinâmico. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.32, n.2, p.152-160, 2007.
- GREENSPAN, L. Humidity fixed points of binary saturated aqueous solutions. **Journal of Research of the National Bureau of Staudards**, v. 81, n. 1, p. 89-96, 1977.
- HALL, C.W. **Drying farm crops**. Ann Arbor, Eduards Brothers, Michigan, 1971, 336p.
- OLIVEIRA, J. R.; CAVALCANTI MATA, E. R.; DUARTE, M. E. M. Isotermas de dessecção de grãos de feijão macassar verde (*Vigna unguiculata* (L.) walpers), variedade sempre-verde. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.6, n.1, p.61-70, 2004
- PALACIN, J. J. F.; LACERDA FILHO, A. F.; CECON, P. R.; MONTES, E. J. M. Determinação das isotermas de equilíbrio higroscópico de milho (*Zea mays* L.) nas espigas. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.31, n.2, p.197-205, 2006.
- PENA, R. S.; RIBEIRO, C. C.; GRANDI, J. G. Aplicação de modelos matemático bi e tripametricos na predição das isotermas de adsorção de umidade de guaraná (*Paullinia cupuna*) em pó. **Ciêueia e Tecuologia de Alimentos**, v. 20, n. I, p. 8-11, 2000.

- PUZZI, D. **Ahastecimento e armazenamento de grão**. Campinas, S.P: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 2000. 666p.
- RAMOS, I. N.; BRANDÃO, T. R. S.; SILVA, C. L. M. Integrated approach on solar drying, pilot convective drying and micro structural changes. **Journal of Food Engineering**, v.6, p.195-203, 2005.
- RATTI, C. Shrinkage during drying of foodstuffs. **Journal of Food Engineering**, v.23, n.1, p.91-105, 1994.
- RESENDE O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A L. D.; RIBEIRO D. M. Propriedades físicas do feijão durante a secagem: determinação e modelagem. **Ciência Agrotécnica**, v. 32, n. 1, p. 225-230, 2008.
- ROA, G.; ROSSI, S. J. Determinação experimental de curvas de teor de umidade de equilíbrio mediante a medição da umidade relativa de equilíbrio. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.2, p.17-22, 1977.
- SILVA, J.de S. **Pré-processamento de produtos agrícolas**. Juiz de Fora: Instituto Maria, 1995. 500p.
- SILVA, J. S.; CORRÊA, P. C. **Estrutura, composição e propriedades dos grãos**. In: SILVA, J. S. Secagem e armazenagem de produtos agrícolas, Viçosa, MG, p. 21-37, 2000.
- SILVA, R. G.; ALMEIDA, C. A.; SILVA, M. M.; GOUVEIA, J. P. G.; ALMEIDA, F. A. C.; SILVA, F. L. H. Comportamento das isotermas de umidade em frutos de acerola. In: I Simpósio Brasileiro de Pós-Colheita de Frutos Tropicais, 12, 2005, João Pessoa-PB, **Anais...2005**.
- SOKHANSANJ, S.; YANG, W. Prediction of kernel and bulk volume of wheat and canola during adsorption and desorption. **Journal agricultural engineering research**, v.63, n.2, p.129-136, 1996.

SUN, D.W.; WOODS, J.L. The selection of sorption isotherm equations for wheat based on the fitting of available data. **Journal of Stored Products Research**, v.30, n.1, p.27-43. 1994.

YOUNG, J. H.; NELSON, G. L. Theory of hysteresis between sorption and desorption isotherms in biological material. **Transactions of the ASAE**, v.10, n.2, p.260-263, 1967.

CAPÍTULO III

QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE AMENDOIM (*Arachis hypogaea* L.) ARMAZENADAS SOB CONDIÇÕES CONTROLADAS

WANDERLEY JÚNIOR, José Sales Alves. **Qualidade fisiológica de sementes de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) armazenadas sob condições controladas**. Campina Grande. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, 2010. 65 f. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola – Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas)

RESUMO

O processo de armazenamento de produtos agrícolas, mais especificamente das sementes, é composto por procedimentos técnicos extremamente rígidos, já que esses produtos devem ter sua qualidade fisiológica garantida para formação de novas áreas. Os fatores como temperatura, umidade relativa do ar e teor de água do produto devem ser observados de forma sistêmica, pois estes poderão desencadear processos benéficos ou maléficos as sementes. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a qualidade fisiológica das sementes de amendoim mediante testes de germinação e vigor e determinação do teor de água, durante 6 meses de armazenamento, sob condições controladas de temperatura e umidade relativa. O experimento foi conduzido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas da UFCG. O teor de água das sementes foi determinado pelo método de estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ durante 24 horas, com resultados expressos em base seca (%). O teste de germinação foi realizado em laboratório utilizando-se folhas de papel *germitest*. A primeira contagem foi efetuada aos cinco dias após a semeadura e a avaliação final aos dez dias. O teste de vigor foi conduzido, avaliando-se a porcentagem de plântulas normais que foram obtidas por ocasião da primeira contagem do teste de germinação. O teor de água das sementes de amendoim varia em função da umidade relativa, temperatura e do tempo de armazenamento. As sementes de amendoim perdem seu poder germinativo no decorrer do tempo em ambientes de altas umidades relativas e altas temperaturas. O vigor das sementes de amendoim tende a 0% (zero) no decorrer do tempo em ambientes de altas umidades relativas e altas temperaturas e possuem relação direta com fungos durante o armazenamento.

Palavras-chave: Germinação, vigor, oleaginosa

WANDERLEY JÚNIOR, José Sales Alves. **Physiological quality peanut seeds (*Arachis hypogea* L.) stored upon controlled condition.** Campina Grande. UFCG, 2010. 65 sh. (Master Degree Essay in Agricultural Engineering – Storage and Processing of Agricultural Products).

ABSTRACT

Water mean of equilibrium of seeds should be evaluated through diverse angle, considering mainly by environmental condition and its chemical composition. On storage, hygroscopical equilibrium is one of the main responsible by storage or by seeds damage. The aim of this research is to determine to isotherms of hygroscopical equilibrium of seeds of peanut upon controlled condition, at temperatures between 5 and 87%. The experiment was conducted at Laboratory of Storage and Agricultural Products Processing at UFCG. Water means of peanuts seeds were determined by static method. To establish air humidity it had been used acid solution on distilled water and salt solution. Equilibrium water means were given when it had been observed small variation of loss of seeds mass. Equilibrium means of peanut seed were determined by greenhouse method at $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ during 24 hours, with expressed results in a dry basis (%). To determine isotherms coefficient of hygroscopical equilibrium of seeds, it had been used Henderson models modified by Cavalcanti Mata, Oswin, Chung and Pfoest and GAB, through regression analysis in a non-linear. Tested equation, except Oswin, represented satisfactory to experimental data. GAB and Henderson models modified by Cavalcanti Mata are efficient to describe hygroscopicity of peanut seeds function to temperature and air humidity, which had aleatory tendencies on distribution of residues and small values to a relative error.

Keywords: Water means, mathematical model, temperature.

1. INTRODUÇÃO

O Nordeste brasileiro é considerado o segundo pólo consumidor da leguminosa, região em que é uma atividade basicamente de pequenos e médios produtores, os quais normalmente não se utilizam de técnicas avançadas em seu cultivo (SANTOS et al., 1996)

A espécie *Arachis hypogaea* L. (amendoim) é uma importante cultura agrícola por demandar pequenas áreas, ser de fácil cultivo e boa fonte alimentícia para a população. A cultivar BR-1 é a semente mais utilizada para o consumo (NOBREGA & SUASSUNA, 2004). Destaca-se por apresentar resistência à seca e alta precocidade, sendo um dos fatores que influem decisivamente no sucesso da cultura e suas sementes são de coloração avermelhada, sendo indicada para o mercado de consumo in natura e para a indústria de alimentos (SANTOS et al., 2005).

O processo de armazenamento de produtos agrícolas, mais especificamente das sementes, é composto por procedimentos técnicos extremamente rígidos, já que esses produtos devem ter sua qualidade fisiológica garantida para formação de novas áreas.

No armazenamento, independentemente dos fatores hereditários inerentes à própria espécie, a longevidade das sementes está sujeita à ação de vários fatores externos, como a temperatura e a umidade relativa do ar, que são os que mais afetam a qualidade fisiológica da semente. A umidade relativa do ar controla o teor de água das sementes, enquanto a temperatura afeta a velocidade dos processos bioquímicos das mesmas (CAPPELLARO, 1993).

Os fatores como temperatura, umidade relativa do ar e teor de água do produto devem ser observados de forma sistêmica, pois estes poderão desencadear processos benéficos ou maléficis aos lotes de sementes trabalhados, já que todos esses fatores estão presentes em todo o processo de armazenamento.

O teor de água das sementes é fator determinante na manutenção de sua qualidade durante o armazenamento. Por interferir na redução da velocidade de respiração que, por sua vez, é controlada com baixos valores do teor de água, assim produtos úmidos normalmente têm um metabolismo acelerado (PUZZI, 2000).

A temperatura exerce total influência na conservação de materiais biológicos que se conservam melhor quando armazenados em ambiente refrigerado do que em altas temperaturas, quando a maioria das reações químicas é acelerada (PUZZI, 2000). Porém, não

pode esquecer-se da sua importância quando associada ao teor de água da semente no controle dos processos de deterioração (CARVALHO & NAKAGAWA, 2000).

A qualidade fisiológica está relacionada com a capacidade de desempenhar suas funções vitais (germinação, vigor e longevidade), e os efeitos sobre esta geralmente são traduzidos pelo decréscimo na porcentagem de germinação, no aumento de plântulas anormais e pela redução no vigor (PUZZI, 2000).

A perda de germinação da semente e a prematura detecção da deterioração são importantes aspectos fisiológicos a serem considerados no armazenamento sendo assim, o teor de água da semente, a temperatura e a umidade relativo do ar de armazenagem são fatores primários que podem ser manipulados e controlados para minimizar a deterioração das sementes preservadas em longo prazo. Os fungos são um dos principais microorganismos presentes nas sementes armazenadas, constituindo uma das causas evidentes de deterioração durante o armazenamento (CARVALHO & NAKAGAWA, 2000).

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a qualidade fisiológica das sementes de amendoim mediante testes de germinação e vigor e determinação do teor de água, durante 6 meses de armazenamento, sob condições controladas de temperatura entre 10 e 40°C e umidades relativas entre 4,1 e 86%.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Armazéuamento

O armazenamento, principalmente nas regiões tropicais, é uma das maiores limitações à manutenção da qualidade fisiológica das sementes. Vários são os fatores que influenciam à conservação da viabilidade (germinação e vigor) das sementes durante o armazenamento: qualidade fisiológica inicial da semente, vigor da planta mãe, condições climáticas durante a maturação, danos mecânicos, condições de secagem, adequado teor de água, umidade relativa do ar, temperatura de armazenamento, ação de microorganismos e insetos, tipos de embalagem e duração do armazenamento (CARVALHO & NAKAGAWA, 2000).

O armazenamento das sementes se inicia no momento em que a maturidade fisiológica é atingida no campo, sendo este o ponto de maior qualidade. Dependendo das condições ambientais e de manejo, pode haver a seguir, a redução da qualidade fisiológica das sementes, pela intensificação do fenômeno da deterioração, processo inexorável e irreversível (HARRINGTON, 1971).

Para a correta condução da operação de armazenagem, independentemente dos fatores hereditários inerentes à própria espécie, a longevidade das sementes está sujeita à ação de vários fatores externos, como a temperatura e a umidade relativa do ar e as condições desejáveis de conservação do produto que são os que mais afetam a qualidade fisiológica da semente (CAPPELLARO et al., 1993; SILVA & DEVILLA, 2008).

Em climas tropicais não é recomendado a armazenagem de sementes com teor de água acima de 12 a 13%, pois valores maiores que o referenciado, podem causar problemas de conservação (ALMEIDA et al., 2006).

Resultados de estudos com armazenamento de sementes indicam que a vida das mesmas no armazém, em termos gerais, multiplica-se por dois para cada redução de um ponto percentual (1%) no seu teor de água, assim como para cada redução de 5,5^oC na temperatura ambiente de armazenamento, entre 0^oC e 45^oC e para teor de água entre 5% e 14% (ALMEIDA et al., 2006).

2.2. Temperatura

As sementes armazenadas se deterioram mais depressa quando a temperatura da massa se eleva (PUZZI, 2000). A ação combinada da temperatura e do teor de água das sementes exerce efeito significativo sobre a manutenção da qualidade do produto. Pesquisas diversas tem mostrado que sementes com elevado teor de água podem ser armazenadas por longos períodos de tempo, quando submetidas a baixas temperatura, enquanto sementes com baixo teor de água expostas as temperaturas de armazenagem elevadas, apresentam substancial perda de viabilidade (JERÔNIMO, 2004).

O desenvolvimento de insetos e fungos, que contribuem para a redução da qualidade da semente, está fortemente relacionado a ação dos fatores temperaturas e teor de água da massa de sementes (DHINGRA, 1985). As condições de alto teor de água das sementes levam ao desenvolvimento de fungos, resultando em aumento de temperatura e umidade relativa do ar, que são condições ideais para propagação de insetos (CAVALCANTI MATA et al. 1997). Esta é a razão pela qual as sementes em climas frios podem ser mantidas em armazéns com maior segurança com teores de água de 1 a 1,5% mais elevado do que em clima quente (ALMEIDA et al., 2006).

2.3. Umidade relativa

Normalmente a umidade relativa do ar é expressa em porcentagem (%), sendo esta definida como a relação entre o vapor de água contido em um determinado volume de ar a dada temperatura e o vapor de água teórico que este volume de ar teria quando saturado de água à mesma temperatura. A umidade relativa é, portanto, a medida da capacidade do ar de absorver vapor de água adicional (CAVALCANTI MATA et al. 1997).

A umidade relativa e a temperatura são os principais fatores externos que influenciam a longevidade das sementes, sendo as condições ambientais de baixa temperatura ($\leq 10^{\circ}\text{C}$) e baixa umidade relativa (50-60%) consideradas adequadas à manutenção da viabilidade durante o armazenamento (COPELAND, 1976).

A umidade relativa do ar controla o teor de água das sementes, enquanto a temperatura afeta a velocidade dos processos bioquímicos das mesmas (POPINIGIS, 1985). A umidade relativa do ar não é um fator constante, isto é, existem variações dia após dia e hora após hora.

No entanto, o teor de água das sementes, varia muito mais lentamente que o vapor de água do ar atmosférico, e muito mais quando está armazenada, já que tende a manter um equilíbrio com a média de umidade relativa do dia, mais que com os valores de umidade momentânea (ALMEIDA et al., 2006).

A condição de alta umidade relativa do ar leva ao desenvolvimento de fungos, resultando em aumento de temperatura da massa de sementes e do teor de água dessas sementes, que são as condições ideais para o desenvolvimento de insetos. As atividades dos insetos produzem aumento de temperatura, e estes se desenvolvem em temperaturas entre 25 e 35 °C (CAVALCANTI MATA et al. 2006).

2.4. Teor de água

O teor de água se refere à quantidade de água mantida pela semente, sendo esta função da umidade relativa do ar e da temperatura do ambiente. Em outras palavras, há uma dada temperatura e umidade atmosférica, o teor de água das sementes se mantém a um nível que não é possível reduzi-lo por meios naturais. O teor de água das sementes, varia mais lentamente que o quantitativo de água do ar atmosférico, e muito mais quando está armazenada, já que tende a manter um equilíbrio com a média de umidade relativa do ar do dia, mais que com os valores de umidade momentânea. (ALMEIDA et al., 2006).

O teor de água refere-se à quantidade de água contida no grão ou semente. O conhecimento do teor de água é o principal parâmetro de avaliação quando se deseja obter um armazenamento seguro (CORRÊA & GONELI, 2005), e também para que se possa determinar as demais características físicas, já que esta influencia diretamente nelas.

O teor de água do produto em qualquer fase do processo, seja na compra de matéria prima, durante o processamento e na comercialização, é um parâmetro que necessita ser conhecido para as realizações dessas operações adequadamente (FIOREZE, 2004). É um dos fatores que governam a conservação dos grãos e sementes armazenadas. É também de grande importância sob o ponto de vista comercial, pois pode alterar substancialmente o valor do produto negociável. Portanto, sua determinação deve ser realizada em todas as fases compreendida desde a colheita até a última etapa do armazenamento (ALMEIDA et al., 2006).

Tendo como objetivo uma armazenagem prolongada, o teor de água das sementes

deve ser suficientemente baixo, de modo que o aumento de temperatura do produto armazenado seja insignificante e o desenvolvimento de fungos e insetos seja impossível, conseqüentemente, o teor de água das sementes é a base para se obter bons resultados na armazenagem (CAVALCANTI MATA et al. 2006).

Em estudos CARVALHO & NAKAGAWA (2000), relatam que o teor de água também possui relação com a qualidade física das sementes pois a injúria mecânica ocorre por quebraamento quando o teor de água da semente é muito baixo (< 12-14%) ou por amassamento quando o teor de água na semente é muito alto (> 16-18%).

No armazenamento em depósitos com temperaturas de 20 °C, sementes amiláceas (milho, arroz, sorgo e trigo) devem conter, no máximo, 13% de água, enquanto que sementes oleaginosas (soja, girassol e amendoim), no máximo 9% (SUASSUNA et al., 2008).

2.5. Qualidade fisiológica

A qualidade de sementes é o somatório de todos os atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários que afetam na capacidade de originar plantas de alta produtividade. É considerada como a capacidade da semente desempenhar funções vitais, caracterizada pela sua germinação, vigor e longevidade (POPINIGIS, 1977), além de envolver outros atributos, entre os quais destacam-se a pureza genética do cultivar e pureza física (MENON et al., 1993).

A qualidade fisiológica tem sido um dos aspectos mais pesquisados nos últimos anos, em decorrência das sementes estarem sujeitas a uma série de mudanças degenerativas de origem bioquímica, fisiológica e física após sua maturação e que estão associadas à redução do vigor (ABDUL-BAKI & ANDERSON, 1972).

Diversos fatores influenciam na preservação da qualidade das sementes, entre os quais as condições de produção, beneficiamento e armazenamento (POPINIGIS, 1985; ALMEIDA et al., 1998; CARVALHO & NAKAGAWA, 2000). Além dos efeitos do ambiente e da embalagem, devem ser considerados, ainda, os aspectos fitossanitários, por serem as sementes, via de disseminação de fungos, causadoras de doenças no campo. Esses organismos e os de armazenamento aceleram o processo de deterioração (ARAÚJO & ROSSETO, 1977; MACHADO, 1988).

A qualidade fisiológica das sementes, representada pela germinação e vigor, pode afetar o desempenho na regeneração das plantas. Sementes de alto vigor apresentam maior velocidade nos processos metabólicos, propiciando emissão mais rápida e uniforme da raiz primária no processo de germinação, maiores taxas de crescimento e produzindo plântulas com maior tamanho inicial (SCHUCH et al., 2000).

A temperatura e a umidade relativa do ar são os principais fatores que afetam a qualidade fisiológica da semente, em particular o vigor durante o armazenamento. Em relação à qualidade das sementes produzidas, tem-se que esta é máxima por ocasião da maturidade fisiológica, a partir deste momento, processos degenerativos começam a ocorrer. Essas alterações, de natureza física, fisiológica ou bioquímica, caracterizam a deterioração com reflexos no desempenho das sementes no campo ou no armazenamento (MARCOS FILHO, 1999a; CARVALHO & NAKAGAWA, 2000).

Ao analisar a qualidade fisiológica do amendoim durante o armazenamento BRUNO et al. (2000), verificaram que a germinação e o vigor das sementes armazenadas em ambiente não controlado, decresceram de forma continuada, ao longo do armazenamento, onde as maiores perdas de germinação e vigor foram verificadas nas sementes conservadas fora do fruto, sendo estas tratadas ou não com fungicida.

2.6. Germinação

De acordo com BRASIL (2009) a germinação de sementes em teste de laboratório é a emergência e desenvolvimento das estruturas essenciais do embrião, demonstrando sua aptidão para produzir uma planta normal sob condições favoráveis de carapo. Esse teste tem como objetivo determinar o potencial máximo de germinação de um lote de sementes, o qual pode ser usado para comparar a qualidade de diferentes lotes e também estimar o valor para sameadura em campo.

A perda de germinação é um indicativo importante da perda de vigor, mas é a última consequência, o que torna útil o uso do teste de vigor no monitoramento da qualidade de sementes durante a produção, processamento e armazenamento, pois a perda de vigor precede a perda de viabilidade (CUSTÓDIO & MARCOS FILHO, 1997).

Em estudos realizados por ALMEIDA et al. (1998) com sementes de amendoim oriundas de quatro estados da região Nordeste, verificaram redução da germinação e do vigor

para o aumento do tempo de armazenagem, concluindo que o tempo afeta a maior parte da viabilidade da semente, logo deve ser considerada como uma importante variável para uma armazenagem segura.

NOGUEIRA et al. (2005) afirmam que, o amendoim sob condições ideais germina em torno de 4 a 5 dias, com sua velocidade atingindo níveis máximos na temperatura de 32 a 34 °C, enquanto que em temperaturas abaixo de 18°C ocorre redução do poder germinativo.

BRUNO et al. (2000), estudando a qualidade fisiológica e micoflora de sementes de amendoim cv. BR1 durante o armazenamento, concluíram que em câmara seca, os valores de germinação e vigor foram aproximados aos obtidos nas sementes antes do armazenamento e que as sementes de amendoim fora do fruto sem tratamento fungicida durante o armazenamento, apresentaram menor qualidade fisiológica e maiores incidências de *Aspergillus flavus* e *Aspergillus niger*.

Segundo MORAES (1985), durante o beneficiamento e o armazenamento, o teor de água e os ferimentos nas sementes, produzidos por ocasião do descascamento, são os principais fatores que afetam a germinação. Os ferimentos, em ambiente favorável, propiciam condições para o desenvolvimento de fungos e bactérias presentes no solo ou levados pelas próprias sementes durante o armazenamento.

AZEREDO et al., (2005), verificaram-se decréscimos na emergência de plântulas de amendoim a partir do terceiro mês de armazenamento, em todos os tratamentos e que sementes armazenadas fora dos frutos sofreram as maiores perdas, chegando a alcançar 28% e 53% de emergência aos 12 meses de armazenamento, em ambiente não controlado e de câmara seca, respectivamente, utilizando-se a embalagem metálica.

REZENDE et al. (1996) e SANTA CRUZ et al. (1999), pesquisando o armazenamento de sementes de soja e amendoim, encontraram resultados semelhantes sob condições de ambiente não controladas.

As sementes conservadas dentro dos frutos proporcionaram os maiores valores de emergência de plântulas (acima de 70%), no final do período, em qualquer uma das condições de armazenamento pesquisadas (AZEREDO et al., 2005).

Assim destaca-se a importância do fruto na conservação da semente, protegendo-a contra fatores ambientais desfavoráveis, a exemplo de alta temperatura e alta umidade relativa do ar. Sementes de amendoim armazenadas dentro dos frutos conservaram sua viabilidade em 50% a mais do que aquelas armazenadas fora dos frutos, independentemente da embalagem

utilizada, alcançando maior preservação durante 15 meses de armazenamento (MORAES, 1996)

2.7. Vigor

O vigor é o resultado da conjunção de todos aqueles atributos da semente, que permitem a obtenção rápida e uniforme de um lote de semente no campo (CARVALHO e NAKAGAWA, 2000).

Vigor de sementes compreende aquelas propriedades que determinam o potencial para uma emergência rápida e uniforme para o desenvolvimento de plântulas normais sob uma ampla faixa de condições ambientais (AOSA, 1983 citado por VIEIRA e CARVALHO, 1994).

Alguns testes de vigor podem ser realizados em conjunto com o teste de germinação, tal como o de primeira contagem de germinação, pois no processo de deterioração, a velocidade da germinação é um dos primeiros parâmetros a ser afetado (MARCOS FILHO, 1999b).

A avaliação do vigor é particularmente importante para a semente de amendoim que possui elevado teor de óleo e deteriora-se mais rapidamente, devido à peroxidação de lipídeos, causando a desintegração das membranas e, conseqüentemente, o descontrole do metabolismo e das trocas de água e solutos entre as células e o meio exterior, provocando a redução da viabilidade da semente (MARCOS FILHO, 1999b).

De acordo com MARCOS FILHO (1999b), principalmente quando os lotes possuem poder germinativo semelhante, os testes vigor têm como objetivo básico, identificar diferenças sutis importantes no potencial fisiológico dos lotes.

AZEREDO et al. (2005), verificaram que as sementes de amendoim armazenadas dentro dos frutos e em ambiente de câmara seca, apresentam vigor elevado durante os doze primeiros meses de armazenamento, independentemente da embalagem e que sementes de amendoim extraídas dos frutos, acondicionadas na embalagem metálica e mantidas em ambiente não controlado, perdem acentuadamente o seu vigor após seis meses de armazenamento.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nos Laboratórios de Análise de Sementes e de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

3.1. Origem das sementes

As sementes de amendoim da cultivar BR-1 foram adquiridas junto ao Escritório de Negócios Tecnológicos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Algodão), localizada no município de Campina Grande – PB.

As amostras de amendoim foram submetidas a condições de armazenamento, com temperaturas e umidades relativas controladas, conforme descrito no item 4 do capítulo I.

Para simular as condições ambientais de temperatura e umidade relativa do ar utilizaram-se soluções ácidas e saturadas e câmaras incubadoras, conforme descrito no item 4 do capítulo II. As avaliações do teor de água, da germinação e do vigor das sementes de amendoim foram realizadas ao longo de 06 meses de armazenamento em intervalos mensais (30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias). Para realizar as análises mensais utilizou-se uma repetição de cada umidade relativa simulada nas quatro temperaturas (5 x 4) totalizando 20 amostras.

3.2. Teor de água

O teor de água das sementes foi determinado pelo método de estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ durante 24 horas, utilizando-se 03 repetições para cada amostra, conforme instruções das Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). Os resultados foram expressos em base seca (%), mediante a Equação 3.1:

$$T_{\text{água}} = \frac{m_{\text{água}}}{m_{\text{seca}}} \times 100 \quad (3.1)$$

onde:

$T_{\text{água}}$ - teor de água;

$m_{\text{água}}$ – Massa de água, g;

m_{seca} - Massa seca, g.

3.3. Teste de germinação

Realizou-se o teste de germinação em laboratório utilizando-se três repetições de 50 sementes, semeadas em folha de papel *germitest*, sendo duas na base e uma em cobertura, umedecidas em água destilada, na proporção de três vezes o peso do papel seco (BRASIL, 2009). Rolos foram confeccionados e acomodados em recipientes plásticos para evitar a perda de umidade e, posteriormente, colocados no germinador (BOD, modelo 101/3) regulado a temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$ e para manter a umidade relativa dentro deste em torno de $95 \pm 2\%$, colocou-se cubas com água na parte inferior. A primeira contagem foi efetuada aos cinco dias após a semeadura e a avaliação final aos dez, de acordo a metodologia descrita por BRASIL (2009). Durante o teste de germinação observou-se as amostras com presença de fungos. A determinação das espécies foi realizada por meio da identificação das características cor e forma de exposição do fungo.

3.4. Teste de vigor

O teste de vigor foi conduzido, avaliando-se a porcentagem de plântulas normais que foram obtidas por ocasião da primeira contagem do teste de germinação. A média das 3 repetições foi o resultado válido para cada lote, expresso em porcentagem (VIEIRA & CARVALHO, 1994).

3.5. Análise estatística

Os dados obtidos foram avaliados com uso do programa computacional Statistica 5.0 fazendo-se uso de regressão não linear, pelo método Quasi-Newton e critério de convergência de 0,0001.

Os dados obtidos de teor de água, germinação e vigor obtidos foram avaliados com uso do software ASSISTAT versão 7.5 (SILVA & AZEVÊDO, 2006), em um delineamento inteiramente casualizado (DIC), em que os experimentos serão dispostos em esquema fatorial $4 \times 5 \times 6$ (temperatura x umidade relativa x tempo) com três repetições. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1. Teor de Água

Os resultados das médias do teor de água das sementes de amendoim em função do tempo de armazenamento, da umidade relativa e da temperatura, se encontram na Tabela C1 do apêndice.

Verifica-se na Tabela C1 do apêndice, que o teor de água de equilíbrio das sementes de amendoim armazenadas sob condições controladas ocorreram da seguinte forma: nas umidades relativas entre 4,1 e 12,5% observa-se que o teor de água de equilíbrio ocorre aos 60 dias de armazenamento, para as temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C; nas umidades relativas entre 31,6 e 75,67% observa-se que o teor de água de equilíbrio ocorreu aos 30 dias de armazenamento, para todas as temperaturas, com exceção da temperatura de 10°C, a qual ocorreu aos 90 dias de armazenamento; nas umidades relativas acima de 82,32% observa-se que o teor de água de equilíbrio ocorreu aos 180 dias de armazenamento para todas as temperaturas, com exceção da temperatura de 30°C, a qual não obteve seu teor de água de equilíbrio.

Na Figura 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4, encontram-se os resultados experimentais e calculados do teor de água (%b.s) das sementes de amendoim através de um modelo cúbico, em função do tempo de armazenamento e umidade relativa e para as temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C, respectivamente.

Observa-se na Figura 3.1, que o teor de água das sementes de amendoim possui uma relação direta com a umidade relativa do ar, ou seja, o teor de água decresce à medida que a umidade relativa diminui. Os valores do teor de água, para a temperatura de 10°C, variaram entre 1,63 e 18,8 (%b.s.), onde o primeiro ocorreu aos 150 dias de armazenamento na umidade relativa de 5,4%, e o segundo aos 180 dias na umidade relativa de 86,77%. HARRINGTON (1972) recomenda 4% a 9% como teores de umidade seguros para o armazenamento de oleaginosas em embalagens impermeáveis. GODOY et al. (2001) recomendam que o limite máximo de teor de água seria de 8% para ensacar sementes de amendoim.

A diminuição do teor de água de 8,67 (%b.s.), observado na implantação do experimento, ocorreu devido o fenômeno de dessorção, ou seja, a semente de amendoim

aconditionada cedeu água para o ambiente de armazenamento. Para o aumento do teor de água das sementes de amendoim, ocorreu um fenômeno inverso, denominado de adsorção, no qual as sementes de amendoim absorveram água do ambiente. De acordo LABBÉ (2003), as sementes são higroscópicas, ou seja, têm a capacidade de trocar umidade com o ambiente que as rodeia; em um ambiente úmido, as sementes secas absorverão vapor de água existente no ar e, inversamente, sementes úmidas em um ambiente seco perderão água para o ar do meio.

Observa-se que a umidade relativa de 62,15% foi a que melhor representou o equilíbrio do teor de água durante o armazenamento, variando entre 7,58 e 8,57% (b.s.). O aumento do teor de água das sementes é influenciado pela umidade relativa do ar (ALMEIDA, 1981). MEDINA et al. (1995), observaram que sementes de amendoim armazenadas por um período de 15 meses nas condições ambientais de Campinas- SP, não tiveram teores de água superior a 8,5% (b.u.).

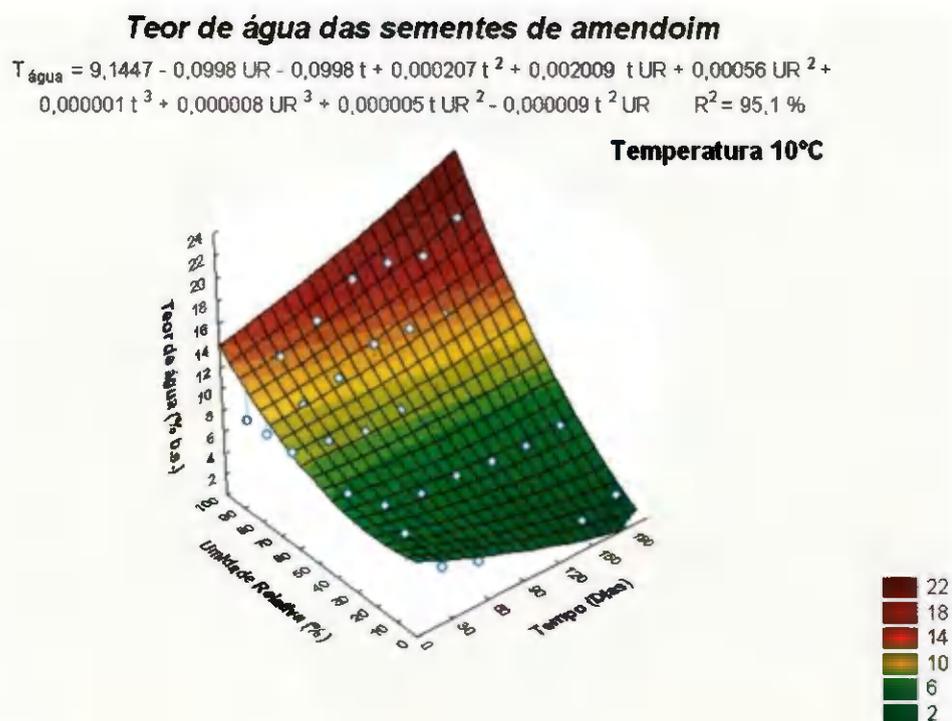


Figura 3.1 Superfície de resposta do teor de água (% b.s) das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento (180 dias) para a temperatura de 10°C.

Verifica-se na Figura 3.2, que os teores de água das sementes de amendoim, para uma faixa de umidade relativa entre 4,1 e 59,14%, diminuíram seu valor, variando entre 1,68 e 7,03%(b.s.) no decorrer do tempo de armazenamento. Para a faixa de umidade relativa entre 75,47 e 85,11%, o teor de água da semente de amendoim aumentou, variando entre 10,03 e 15,42% (b.s.), ou seja, para umidades relativas mais altas houve um aumento dos valores de teor de água das sementes de amendoim. Esse fenômeno ocorreu de forma inversa, na medida em que umidade relativa do ambiente de armazenamento diminuiu. O processo de desorção ou adsorção (perda e ganho de água) ocorre porque as sementes têm estruturas porosas que permitem realizar trocas gasosas com o ar (ALMEIDA, et al., 2006).

Observa-se na mesma figura que a umidade relativa de 59,14% para 20°C foi a que melhor representou o equilíbrio do teor de água das sementes de amendoim durante o armazenamento, variando entre 6,61 e 7,03% (b.s.). DINIZ et al. (2001), avaliando a qualidade fisiológica de sementes de amendoim da cultivar BR1, armazenadas a 20°C de temperatura e 65% de umidade relativa, observou que o teor de água variou entre 5,92 e 7,73%(b.u) em função do tempo de armazenamento. De acordo com resultados, LAZZARI (1993), afirma que o teor de água das sementes de amendoim de até 8%, no prazo máximo de um ano, não promove a deterioração do mesmo. Observa-se na Figura III. 2 que a superfície de resposta, com os valores de teor de água observados, tende a valores próximos de zero à medida que a umidade relativa diminui e o tempo de armazenamento aumenta, contudo essa é a tendência do modelo e não dos valores experimentais, que se estabilizaram com 1,8%(b.s.). CAVALCANTI MATA et al. (2006), relata que para armazenagem prolongada, o teor de água das sementes deve ser suficientemente baixo, de modo que o aumento de temperatura do produto armazenado seja insignificante, sendo o teor de água a base do sucesso da armazenagem.

Teor de água das sementes de amendoim

$$T_{\text{água}} = 8,4655 - 0,1055 \text{ UR} - 0,1055 t + 0,000314 t^2 + 0,00195 t \text{ UR} + 0,00114 \text{ UR}^2 + 0,000001 t^3 + 0,000004 \text{ UR}^3 + 0,000001 t \text{ UR}^2 - 0,000008 t^2 \text{ UR} \quad R^2 = 93,3 \%$$

Temperatura 20°C

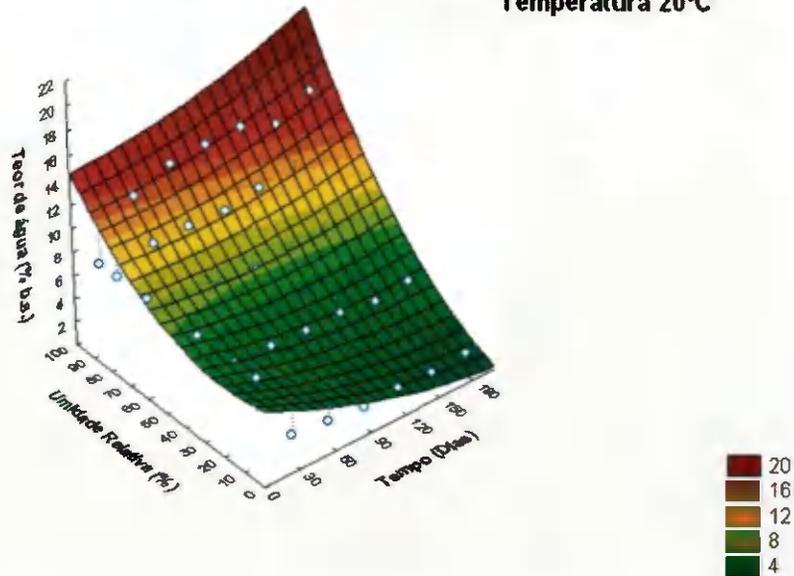


Figura 3.2 Superfície de resposta do teor de água (% b.s) das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento (180 dias) para a temperatura de 20°C.

Verifica-se na Figura 3.3, que os teores de água das sementes de amendoim, para um faixa de umidade relativa entre 10 e 56,03%, diminuíram seu valor, variando entre 1,39 e 6,28% (b.s.) no decorrer do tempo de armazenamento. Para a faixa de umidade relativa entre 75,09 e 83,62%, o teor de água da semente de amendoim aumentou, variando entre 9,14 e 13,20% (b.s.), ou seja, para umidades relativas altas houve um aumento dos valores de teor de água das sementes de amendoim. Esse fenômeno ocorreu de forma inversa, na medida em que umidade relativa do ambiente de armazenamento diminuiu. Observa-se na mesma figura que a umidade relativa de 56,03% para 30°C foi a que melhor representou o equilíbrio do teor de água das sementes de amendoim durante o armazenamento, variando entre 5,69 e 6,8% (b.s.). Observa-se na figura que a superfície de resposta, com os valores de teor de água observados, tende a valores próximos de zero à medida que a umidade relativa diminui e o tempo de armazenamento aumenta, contudo essa é a tendência do modelo e não dos valores experimentais, que se estabilizaram com 1,98 (% b.s.) O fator mais importante que afeta a conservação das sementes é seu teor de água, o qual acima de 13% não é desejável para

armazenar sementes em geral (LABBÉ, 2003). ALVES (2008), analisando o comportamento de sementes de amendoim cultivar BR1, constatou que o teor de água das mesmas aumentou ao longo do tempo.

Teor de água das sementes de amendoim

$$T_{\text{água}} = 9,3125 - 0,1437 UR - 0,1437 t + 0,00072 t^2 + 0,00209 t UR + 6,00215 UR^2 - 0,000001 t^3 - 0,000004 UR^3 - 0,000008 t^2 UR \quad R^2 = 92,7 \%$$

Temperatura 30°C

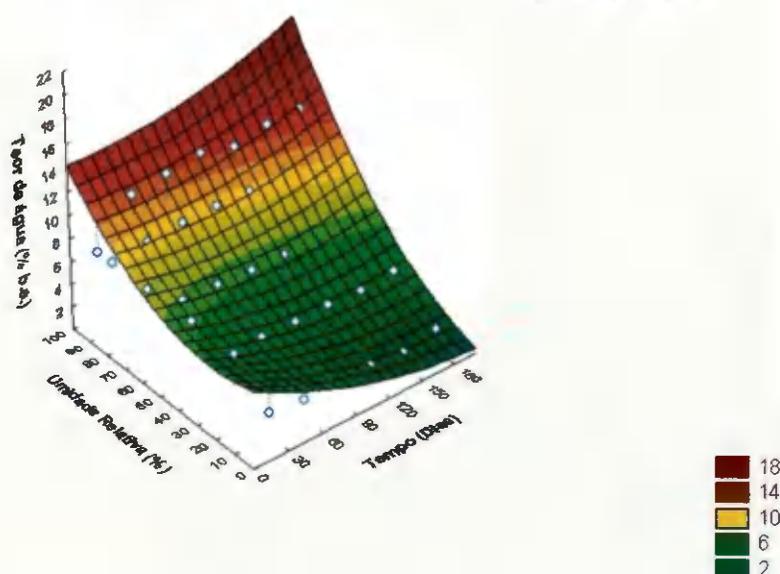


Figura 3.3 Superfície de resposta do teor de água (% b.s) das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento (180 dias) para a temperatura de 30°C.

Verifica-se na Figura 3.4, para uma faixa de umidade relativa entre 12,5 e 53,17%, que os teores de água das sementes de amendoim diminuíram seu valor, variando entre 1,04 e 5,49% (b.s.) no decorrer do tempo de armazenamento. Para a faixa de umidade relativa entre 74,68 e 82,32%, o teor de água da semente de amendoim aumentou, variando entre 7,15 e 12,11% (b.s.), ou seja, para umidades relativas altas houve um aumento dos valores de teor de água das sementes de amendoim. ALMEIDA et al. (2006), afirma que em climas tropicais não é recomendado a armazenagem de sementes com teor de água acima de 12 a 13%, devido a teor de água maior que o referenciado, causar problemas de conservação.

Observa-se na mesma figura que a umidade relativa de 74,68% na temperatura de 40°C foi a que melhor representou o equilíbrio do teor de água das sementes de amendoim

durante o armazenamento, variando entre 7,15 e 8,90% (b.s.). A pesquisa tem demonstrado que o teor de água da semente armazenada se incrementa com rapidez, quando a umidade relativa do ar é superior a 75%, explicando porque nos climas secos a umidade relativa do ar tem efeito muito reduzido sobre o teor de água da semente; quando armazenada em temperatura elevada o sistema enzimático da semente é ativado, acelerando o processo de respiração, permitindo uma maior atividade de insetos e microorganismos (ALMEIDA et al., 2006).

Observa-se que a testemunha do teor de água, Tabela CI do apêndice, teve um comportamento crescente nos seus valores, variando entre 7,65 e 12,43% (b.s.) aos 30 e 180 dias, respectivamente, no decorrer do armazenamento.

Teor de água das sementes de amendoim

$$T_{\text{água}} = 9,3293 - 0,1482 \text{ UR} - 0,1482 t + 0,000604 t^2 + 0,001811 t \text{ UR} + 0,002617 \text{ UR}^2 - 0,000009 \text{ UR}^3 + 0,000001 t \text{ UR}^2 - 0,000007 t^2 \text{ UR} \quad R^2 = 90,5 \%$$

Temperatura 40°C

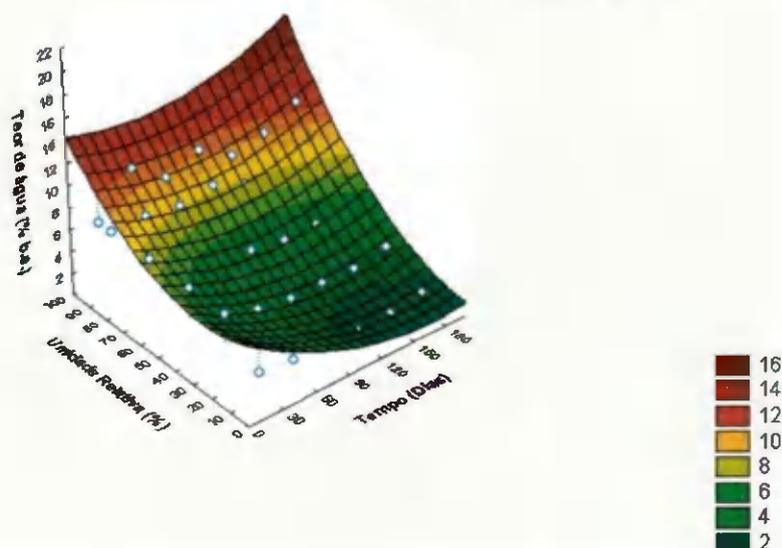


Figura 3.4. Superfície de resposta do teor de água (% b.s) das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento (180 dias) para a temperatura de 40°C.

Analisando os resultados da Tabela 3.1, vê-se que, mesmo com a variação da temperatura, o modelo cúbico representa satisfatoriamente os dados experimentais e calculados para o teor de água (% b.s.) de sementes de amendoim, já que os valores de R^2 foram todos acima de 90% e os erros relativos foram baixos. Analisando-se a distribuição dos

valores residuais e valores estimados do modelo matemático estudado, observa-se que todas as temperaturas apresentaram o comportamento aleatório, sugerindo que o modelo utilizado pode representar satisfatoriamente o teor de água de sementes de amendoim, em função da umidade relativa e do tempo, Figura C1 do apêndice.

Tabela 3.I. Coeficientes de determinação (R^2), erros relativos (P) e tendência de distribuição de resíduos do modelo cúbico do Teor de água de sementes de amendoim armazenadas por 06 meses sob condições controladas de temperatura (10, 20, 30 e 40°C) e umidade relativa do ar (10, 30, 50, 70 e 90%).

Temperatura °C	R^2 (%)	P (%)	Tendência
10	95,1	6,65	Aleatória
20	93,3	7,82	Alcatória
30	92,7	8,88	Aleatória
40	90,5	10,44	Aleatória

Observa-se, nas tabelas 3.2, 3.3 e 3.4, os resultados da interação do teor de água de sementes de amendoim armazenadas sob condições controladas por 6 meses.

Verifica-se para as umidades relativas em função das temperaturas, que houve variação para o teor de água entre as temperaturas (Tabela 3.2); onde na umidade relativa de 10% houve uma igualdade para as temperaturas de 20 e 40°C, diferindo das demais, sendo a temperatura de 30°C superior as demais. Na umidade relativa de 30% houve variação para todas as temperaturas estudadas, sendo a de 30°C superior as demais, onde na temperatura de 40°C observa-se a menor média de teor de água (5,5%,b.s.). Na umidade relativa de 50% houve uma igualdade na temperatura de 20 e 40°C, sendo estas superiores estatisticamente das demais. Na umidade relativa de 70% observou-se igualdade nas temperaturas de 10 e 40°C, diferindo das demais. Na umidade relativa de 90%, verifica-se uma igualdade entre as temperaturas de 10 e 30°C, sendo superior as demais e maior média experimental de 8,88%; para as temperaturas de 20 e 40°C também apresentaram igualdade estatística.

Com relação ao fator umidade relativa, houve variação estatística para todos os teores de água dentro das temperaturas. Essa variação se deve, provavelmente, a grande oscilação dos valores de umidade relativa no decorrer do experimento. Devido à grande quantidade de água presente nas condições de altas umidades relativas, o teor de água aumentou pelo fato das sementes serem materiais higroscópicos, ou seja, absorvem ou perdem água do meio as

quais estão acondicionadas. CARVALHO & NAKAGAWA (2000) concluíram que, até 75% na umidade relativa do ar resultam em aumentos aproximados de dois pontos percentuais no teor de água das sementes; acima de 75%, contudo, o teor de água das sementes aumenta acentuadamente.

Tabela 3.2. Valores médios do teor de água (%) para a interação Temperatura x Umidade Relativa de sementes de amendoim da cv. BRI sob condições controladas armazenadas por 180 dias

Temperatura °C	Umidade Relativa (%)				
	10	30	50	70	90
10	7.26 bC	6.89 bD	6.48 bE	7.92 abB	8.88 aA
20	5.96 cD	5.75 eD	8.55 aA	7.76 bB	7.11 bC
30	7.72 aB	7.18 aC	6.16 cD	7.31 cC	8.96 aA
40	5.85 cD	5.50 cE	8.71 aA	8.11 aB	7.31 bC
DMS (C)	0,2670				
DMS (L)	0,2838				

As médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Verifica-se para o tempo de armazenamento em função das temperaturas, que houve variação para o teor de água entre as temperaturas (Tabela 3.3); no tempo 30 dias, observa-se estatisticamente que 10°C = 30°C e que 20°C = 40°C; no tempo 60 dias, observa-se igualdade nas temperaturas de 10, 20 e 40°C, diferindo da temperatura de 30°C; observa-se no tempo 90 dias, que houve igualdade estatística para todas as temperaturas; verifica-se no tempo 120 que houve diferença significativa entre as temperaturas, onde para as temperaturas de 20 e 40°C observa-se igualdade estatística, diferindo das demais, sendo na temperatura de 30°C a maior média do teor de água (8,08%, b.s), juntamente com a temperatura de 30°C aos 150 dias; observa-se no tempo 150 dias, que houve variação estatística para todas as temperaturas; no tempo 180 dias, verifica-se igualdade estatística onde 10°C = 30°C e 20°C = 40°C, onde na temperatura de 10°C observa-se o maior valor de teor de água para o tempo 180. Observa-se que o menor valor de teor de água, para interação temperatura x tempo, ocorreu no tempo 120 dias nas temperaturas de 20 e 40°C.

Com relação ao tempo de armazenamento, observa-se que houve variação significativa para todas as temperaturas estudadas. Assim, observa-se que, quanto maior o tempo de armazenamento e temperatura maior, será a variação do teor de água. ALVES, (2008) verificou que a germinação de sementes de amendoim cv. BR-1 diminui com o aumento do período de armazenamento, e que não houve uniformização na conservação das sementes.

Tabela 3.3. Valores médios do teor de água (%) para a interação Temperatura x Tempo de sementes de amendoim da cv. BRI sob condições controladas armazenadas por 180 dias.

T °C	Tempo (dias)					
	30	60	90	120	150	180
10	7.74 aA	7.22 aC	7.62 aAB	7.42 bBC	7.40 bBC	7.54 aABC
20	7.34 bA	7.49 aA	7.38 aA	6.12 cC	6.94 cB	6.89 bB
30	7.34 bB	6.46 bC	7.38 aB	8.08 aA	8.08 aA	7.46 aB
40	7.47 abA	7.51 aA	7.48 aA	6.12 cC	7.06 cB	6.95 bB
DMS (C)	0,2924					
DMS (L)	0,3248					

As médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Verifica-se para o tempo dentro de cada umidade relativa, que foi registrada variação estatística para o teor de água entre as umidades relativas; verifica-se que em todos os tempos houve diferença significativa entre todas as umidades relativas, constata-se que a menor média do teor de água (1,74%, b.s.) ocorreu no tempo de 180 dias na umidade relativa de 10% e que a maior média do teor de água (14,45%, b.s.) ocorreu no tempo de armazenamento de 30 na umidade relativa de 90%, Tabela 3.4.

Tabela 3.4. Valores médios do teor de água (%) para a interação Umidade relativa x Tempo de sementes de amendoim da cv. BRI sob condições controladas armazenadas por 180 dias.

Umidade Relativa (%)	Tempo (dias)					
	30	60	90	120	150	180
10	2.18 eE	4.95 dD	6.92 eC	10.37 bB	14.03 aA	1.74 eF
30	4.15 dE	5.69 cC	9.07 bB	11.97 aA	2.14 eF	4.94 dD
50	7.23 cC	10.64 bB	15.13 aA	1.56 eF	4.21 dE	6.05 cD
70	9.35 bC	12.88 aA	2.06 eF	4.83 dE	6.92 cD	10.58 bB
90	14.45 aA	1.66 eF	4.12 dE	5.88 eD	9.55 bC	12.72 aB
DMS (C)	0,3475					
DMS (L)	0,3631					

As médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.2. Germinação de sementes de amendoim

Os resultados das médias da germinação das sementes de amendoim em função do tempo de armazenamento, da umidade relativa e da temperatura, se encontram na Tabela C2 do apêndice. Na mesma tabela, verifica-se que a germinação das sementes, armazenadas sob condições controladas, obteve o seguinte comportamento: a germinação chegou a 0% (zero) na temperatura de 10°C e umidade relativa de 86,77%, aos 180 dias de armazenamento; a germinação chegou a 0% (zero) para as temperaturas acima de 20°C e umidade relativa acima de 75,97%, aos 150 dias de armazenamento; aos 120 dias de armazenamento a germinação caiu para 0% (zero) nas temperaturas de 30 e 40°C e umidades relativas acima de 75,09%; aos 90 dias de armazenamento, a germinação caiu para 0% (zero) na temperatura de 30 °C e umidade relativa de 83,62% e na temperatura de 40°C e umidades relativas acima de 74,68%; aos 60 dias de armazenamento a germinação chegou a 0% (zero) para temperatura acima de 30°C e umidade relativa acima de 82,32%; aos 30 dias de armazenamento a germinação chegou a 0% (zero) na temperatura de 40°C e umidade relativa de 82,32%. Ainda na mesma tabela, observa-se que a germinação de 45% ocorreu na temperatura de 10°C e na umidade relativa de 62,15%, o qual corresponde a uma redução de 44% na germinação, sendo este o maior resultado obtido durante o experimento. Nas temperaturas de 10, 20 e 30°C, observa-se que a redução da germinação é menor nas umidades relativas entre 56,03 e 75,67%.

Na Figuras 3.5, 3.6, 3.7 e 3.8, encontram-se os resultados experimentais e calculados da germinação (%) das sementes de amendoim através de um modelo cúbico, em função do tempo de armazenamento e umidade relativa e para as temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C, respectivamente.

Na Figura 3.5, verifica-se que a germinação das sementes de amendoim, para temperatura de 10°C, em função do tempo de armazenamento e da umidade relativa teve um comportamento decrescente. À medida que a umidade relativa aumentou, a germinação diminuiu, variando entre 80 e 0% (zero) no decorrer do armazenamento. Aos 30 e 60 dias de armazenamento, as sementes mantiveram os valores de germinação entre 80 e 60%, respectivamente. Observa-se que aos 180 dias de armazenamento, na umidade relativa de 86,77%, o valor de germinação foi igual a 0% (zero). Uma das explicações foi o teor de água de 18,8(%*b.s.*) adquirido nessa condição ao longo do armazenamento. Essa elevação ocorreu devido ao alto valor de umidade relativa durante o armazenamento. HARRINGTON (1972), recomenda entre 4 e 9% como teores de água seguros para o armazenamento de oleaginosas em embalagens impermeáveis à umidade. Estudos diversos tem mostrado que sementes com elevado teor de umidade podem ser armazenadas durante longos períodos, quando submetidas a baixas temperaturas, enquanto sementes com baixo teor de umidade expostas às temperaturas de armazenagem elevadas, apresentam substancial perda de viabilidade (JERÔNIMO, 2004).

Na mesma figura, observa-se que na umidade relativa de 62,15%, obteve-se o melhor resultado na manutenção da germinação com o valor de 45% ao final do armazenamento. Valor este que mesmo tendo sido o melhor resultado obtido no experimento, está fora dos padrões oficiais de comercialização de sementes de amendoim. De acordo com resultados obtidos por ALMEIDA & MORAIS (1997), houve uma perda drástica nos índices de germinação das sementes de amendoim, os quais as sementes perderam 27,11 e 25,66% de germinação aos 03 e 06 meses de armazenamento, respectivamente.

Germinação das sementes de amendoim

$$G = 84,7461 - 0,4252 UR - 0,4252 t + 0,00011 t^2 + 0,0076 t UR + 0,0105 UR^2 + 0,000003 t^3 - 0,000069 UR^3 - 0,000077 t UR^2 - 0,000011 t^2 UR \quad R^2 = 91,1\%$$

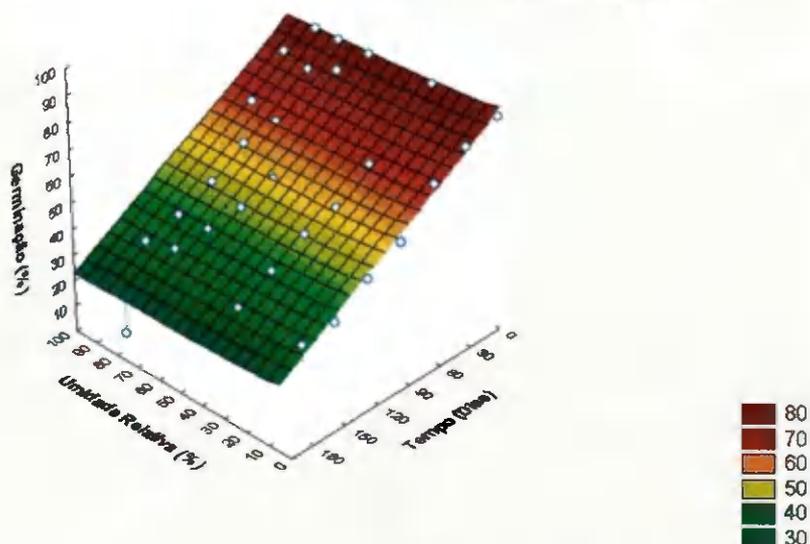
Temperatura 10°C

Figura 3.5. Superfície de resposta da germinação (%) das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento (180 dias) para a temperatura de 10°C.

Observa-se, na Figura 3.6, que os valores de germinação (%), decrescem no decorrer do armazenamento a medida que a umidade relativa aumenta, variando entre 75% e 0% (zero), aos 30 e 150-180 dias, respectivamente. Aos 30 dias de armazenamento os valores de germinação foram mantidos acima de 65%, exceto para umidade relativa de 85,11% com valor de 49% para germinação, resultado esse explicado pelo elevado teor de água, que foi de 12,99% (b.s.) A partir dos 60 dias de armazenamento o declínio nos valores da germinação das sementes de amendoim são mais acentuados. Onde aos 150 e 180 dias de armazenamento os valores de germinação para ambos os períodos foram de 0% (zero), provavelmente devido ao elevado teor de água, os quais foram 13,83 e 15,42% (b.s) respectivamente. Esse resultado pode ser visualizado na Figura 3.6, onde a superfície de resposta tende a desaparecer aos 150 e 180 dias, para as umidades relativas de 75,47 e 85,11%. Para temperatura de 20°C, a umidade relativa de 59,14% foi a que obteve melhor valor de germinação, que foi de 41%. ALMEIDA & MORAIS (1997), relatam que sementes armazenadas nas condições de 23°C de 68% de umidade relativa mantiveram seu poder germinativo aos três meses de

armazenamento. No sexto mês de armazenamento as sementes perderam mais de 30% de seu poder germinativo, provavelmente ocasionado pelo ganho de teor de água. AZEREDO et al. (2005), em trabalho realizado com armazenamento de amendoim com temperatura de 20°C e 65% de umidade relativa, verificaram decréscimos na emergência de plântulas a partir do terceiro mês de armazenamento. Os resultados de germinação, observados para temperatura de 20°C estão condizentes com os obtidos por GURJÃO (1995), de que houve redução gradativa da germinação da semente de amendoim ao longo do armazenamento, com perdas maiores nos seis primeiros meses.

Germinação das sementes de amendoim

$$G = 81,5740 - 0,5274 UR - 0,5274 t + 0,0015 t^2 + 0,0048 t UR + 0,0216 UR^2 - 0,000003 t^3 - 0,00019 UR^3 - 0,000082 t UR^2 - 0,000004 t^2 UR \quad R^2 = 92,74\%$$

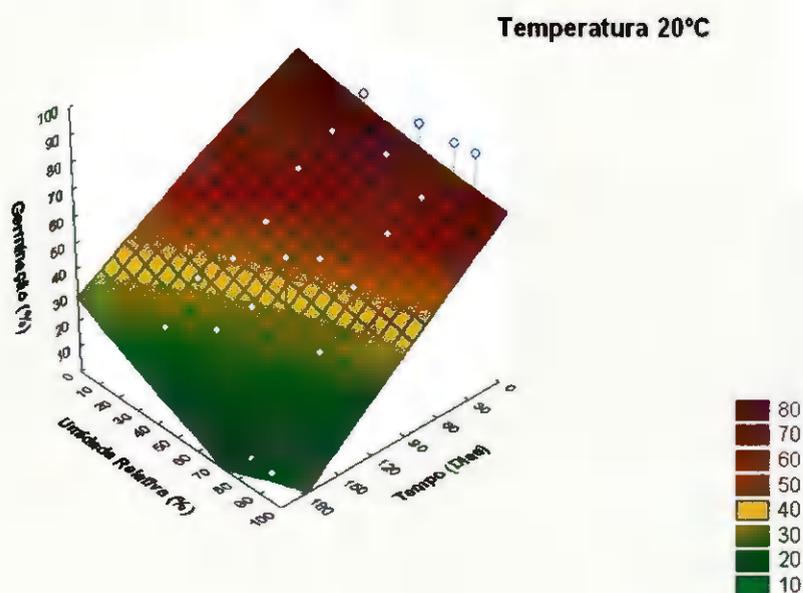


Figura 3.6. Superfície de resposta da germinação (%) das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento (180 dias) para a temperatura de 20°C.

Na Figura 3.7, verifica-se que à medida que os percentuais de umidade relativa (%) se elevam, ocorre a diminuição linear dos valores de germinação (%) no decorrer do tempo de armazenamento das sementes de amendoim. Na temperatura de 30 °C os valores de germinação, variam entre 69 e 0% (zero) aos 30 e 180 dias de armazenamento, respectivamente. Na mesma figura, observa-se que, os valores de germinação na umidade relativa de 83,62% chegaram a 0%, a partir dos 60 dias de armazenamento, Tabela C2 do

apêndice. Para essa condição de umidade, o teor de água variou entre 12,36 e 13,20% (b.s) entre o período de 60 e 180 dias de armazenamento. Esses valores elevados de teor de água, permitem explicar o fato da germinação ter sido 0% (zero) a partir dos 60 dias de armazenamento. ALMEIDA et al. (2006) afirmam que em climas tropicais não é recomendado a armazenagem de sementes com teor de água acima de 12 a 13%, devido a teor água maior que o referenciado, causar problemas de conservação. Para umidade relativa de 75,09%, os valores de germinação foram 0% (zero) a partir dos 150 dias de armazenamento. O teor de água observado para a amostra nessa condição foi de 9,59% (b.s). Mesmo estando abaixo dos valores oficiais de germinação de sementes de amendoim para comercialização, observa-se que o melhor índice de germinação, para temperatura de 30°C, foi de 38%, obtido na umidade relativa de 56,03%, aos 180 dias. Essa mesma tendência foi observada por ALMEIDA & MORAIS (1997), os quais relatam que sementes de amendoim nas condições de Patos-PB perderam mais de 50% do poder de germinação logo no primeiro trimestre de armazenamento. Sementes de amendoim armazenadas fora dos frutos sofreram as maiores perdas, chegando a alcançar 28% e 53% de emergência aos 12 meses de armazenamento, em ambiente não controlado e de câmara seca, respectivamente (AZEREDO et al., 2005).

Germinação das sementes de amendoim

$$G = 83,0718 - 0,6856 UR - 0,6856 t + 0,0048 t^2 - 0,0033 t UR + 0,0303 UR^2 - 0,000014 t^3 - 0,00029 UR^3 - 0,000047 t UR^2 - 0,00003 t^2 UR \quad R^2 = 93\%$$

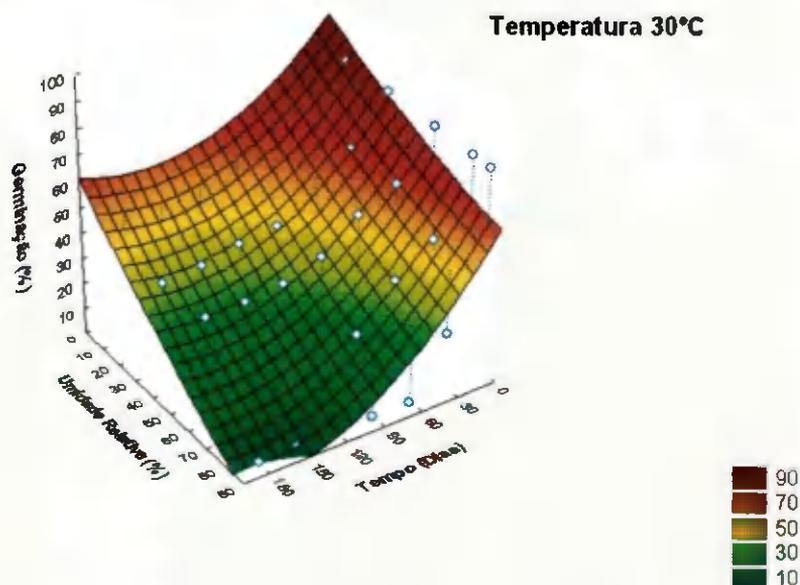


Figura 3.7. Superfície de resposta da germinação (%) das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento (180 dias) para a temperatura de 30°C.

Pode-se verificar que os valores de germinação sofreram elevadas perdas nos índices, quando comparados com os valores obtidos durante a implantação do experimento, Figura 3.8. Essa diminuição é melhor visualizada nos maiores valores de umidade relativa em função do tempo de armazenamento. Os valores de germinação para temperatura de 40°C variaram entre 64 e 0% no decorrer do experimento. Para umidade relativa de 82,32% e na temperatura de 40°C, os valores de germinação foram 0% (zero), entre os períodos de 30 e 180 dias de armazenamento, com teores de água variando entre 10,02 e 12,11% (b.s). Para a umidade relativa de 74,68%, os valores de germinação foram de 0% (zero) a partir dos 90 dias de armazenamento. Este fato foi relatado por CAVALCANTI MATA et al. (2006), onde a condição de alta umidade relativa do ar leva ao desenvolvimento de fungos, resultando em aumento de temperatura da massa de sementes e do teor de água dessas sementes, prejudicando assim a qualidade fisiológica das sementes. O maior índice de germinação, para temperatura de 40°C, foi de 23% na umidade relativa de 31,6%. Devido ao baixo valor de umidade relativa, a semente manteve seu equilíbrio e, conseqüentemente, melhores índices

para essas condições. ALMEIDA et al. (1999), trabalhando com sementes de gergelim, relatam que as variações de germinação durante o armazenamento são perfeitamente explicáveis, não só pela variação da umidade relativa do ar, como também, pela variação da temperatura e pela influência de fatores biológicos sobre a taxa de respiração, provocando aumento no teor de umidade da semente, no período de conservação. Conseqüentemente, quanto maior for a condição de umidade relativa e de temperatura maior será a perda da qualidade fisiológica de sementes de amendoim ao longo do armazenamento.

Outro resultado observado para perda da germinação, principalmente nas amostras armazenadas com alta umidade relativa, foi a presença de fungos nas sementes de amendoim. Esses microorganismos são conhecidos como típicos de armazenamento, podendo prejudicar a qualidade das sementes, em decorrência de sua deterioração (CARVALHO & NAKAGAWA, 2000).

Observa-se que a testemunha da germinação, Tabela C2 do apêndice, teve um comportamento decrescente nos seus valores, variando entre 69% aos 30 dias, e 7% aos 150 dias de armazenamento, ambas com teores de água de 7,65 e 10,01% (b.s), respectivamente. Verifica-se que aos 180 dias, o valor da germinação para as condições ambientais foi 0% (zero). Nesse sentido, vale ressaltar que, não se recomenda, nas condições ambientais de Campina Grande – PB, entre os meses de junho e dezembro, realizar o armazenamento de sementes de amendoim, pois as mesmas obtiveram uma diminuição linear dos índices de germinação, chegando a 0% (zero) nesse período. Apesar de reduções na emergência de plântulas sob condições controladas (câmara seca), o ambiente não controlado proporcionou perdas mais significativas no decorrer do armazenamento de sementes de amendoim (AZEREDO et al., 2005). Em trabalho realizado com armazenamento, ALMEIDA & MORAIS (1997) relatam que a manutenção da longevidade das sementes de amendoim armazenadas sem controle de umidade relativa e temperatura é amplamente dependente das condições climáticas em que o armazenamento é realizado. ALVES (2008), analisando o comportamento da germinação em sementes de amendoim, cultivar BR1, constatou que a germinação das mesmas diminui ao longo do tempo. CARVALHO & NAKAGAWA (2000) afirmam que condições de temperatura elevada e de alto teor de água irão ocasionar a morte das sementes.

Germinação das sementes de amendoim

$$G = 90,2104 - 0,8804 UR - 0,8804 t + 0,0067 t^2 - 0,0075 t UR + 0,0281 UR^2 - 0,000024 t^3 - 0,00026 UR^3 - 0,000021 t UR^2 - 0,000056 t^2 UR \quad R^2 = 90,31\%$$

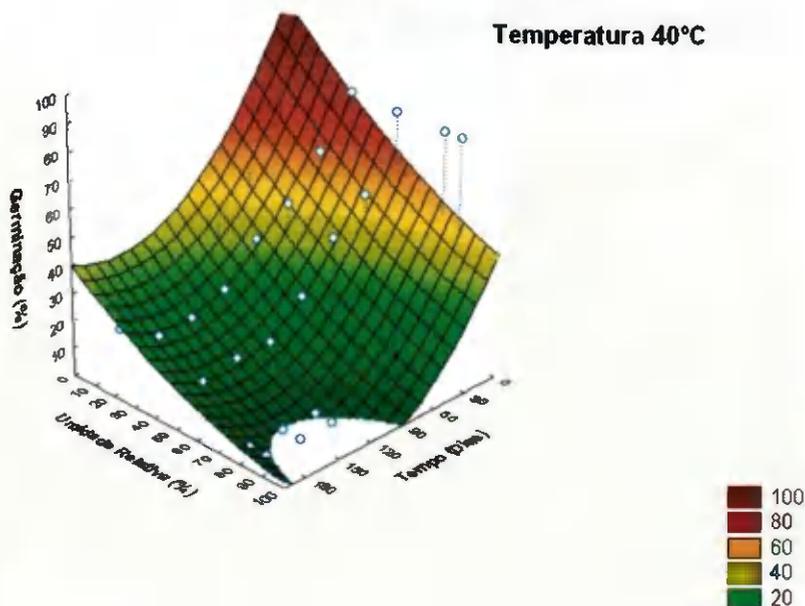


Figura 3.8. Superfície de resposta da germinação (%) das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento (180 dias) para a temperatura de 40°C.

Observa-se na Figura C2 do apêndice, que mesmo com a variação da temperatura, o modelo cúbico representa satisfatoriamente os dados experimentais e calculados para a germinação (%) de sementes de amendoim, já que os valores de R^2 foram todos acima de 90% e os erros relativos foram baixos, variando entre 7,08 e 9,68%. Analisando-se a distribuição dos valores residuais do modelo matemático estudado, observa-se que as temperaturas de 10 e 20°C apresentaram o comportamento tendencioso para distribuição dos resíduos. Enquanto que as temperaturas de 30 e 40 °C tiveram comportamento aleatório, sugerindo que o modelo utilizado pode representar satisfatoriamente a germinação (%) de sementes de amendoim, em função da umidade relativa e do tempo de armazenamento (Tabela 3.5).

Tabela 3.5. Coeficientes de determinação (R^2), erros relativos (P) e tendência de distribuição de resíduos do modelo cúbico da germinação de sementes de amendoim armazenadas por 06 meses sob condições controladas de temperatura (10, 20, 30 e 40°C) e umidade relativa do ar (10, 30, 50, 70 e 90%).

Temperatura °C	R^2 (%)	P (%)	Tendência
10	91,1	7,08	Tendenciosa
20	92,74	7,19	Tendenciosa
30	93	5,98	Aleatória
40	90,31	9,68	Aleatória

Observa-se nas Tabelas 3.6, 3.7 e 3.8 os resultados da interação da germinação de sementes de amendoim armazenadas sob condições controladas por 6 meses.

Verifica-se para as umidades relativas em função das temperaturas, que houve variação entre germinação e as temperaturas (Tabela 3.6.); na umidade relativa de 10 e 30% e temperaturas de 20 e 30°C apresentaram igualdade, diferindo das demais; sendo que a temperatura de 10°C apresentou as maiores médias de 37,17 e 32,89%, nas umidades relativas de 10 e 30%, respectivamente. Na umidade relativa de 50% as temperaturas de 10 e 20°C apresentaram igualdade, diferindo das demais. Na umidade relativa de 70% as temperaturas de 20 e 40°C apresentaram igualdade, diferindo das demais médias. Na umidade relativa de 90% houve variação para todas as temperaturas, sendo a temperatura de 40°C a que apresentou a menor média de germinação no decorrer do experimento (4,61%), devido, provavelmente, a atividade biológica causada por fungos do gênero *Aspergillus* spp., que tem como temperatura ótima de crescimento entre 30 e 35°C e umidades relativas do ar entre 85 e 95% (NOBREGA & SUASSUNA, 2004).

A variação da germinação observada na interação temperatura x umidade relativa, se deve provavelmente as condições de elevadas umidades relativas e temperaturas que as sementes de amendoim foram submetidas. É possível que as condições de elevada temperatura e umidade relativa, ocasionaram a deterioração das sementes, pois os valores de germinação e vigor tenderam a zero. Altas umidades relativas são ambientes favoráveis ao desenvolvimento de fungos que segundo NOBREGA & SUASSUNA (2004) requerem para o seu desenvolvimento fatores ambientais favoráveis, com umidade relativa do ar entre 80 e 90% e temperatura ambiental superior a 20 °C.

Tabela 3.6. Valores médios da germinação (%) para a interação Temperatura x Umidade Relativa de sementes de amendoim da cv. BR1 sob condições controladas armazenadas por 180 dias.

Temperatura °C	Umidade Relativa (%)				
	10	30	50	70	90
10	37.17 aA	32.89 aB	26.39 aC	22.55 aD	26.28 aC
20	19.50 bB	16.89 bB	24.89 aA	18.33 bB	8.78 cC
30	21.85 bA	18.72 bB	8.72 cD	14.28 cC	14.28 bC
40	11.17 cB	9.44 cB	15.33 bA	9.33 dB	4.61 dC
DMS (C)	2,7367				
DMS (L)	2,9088				

As médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Germinação inicial = 80%

Verifica-se para o tempo de armazenamento em função da temperatura, que houve variação estatística para germinação entre as temperaturas (Tabela 3.7.); no tempo 30 dias as temperaturas de 20 e 30°C apresentaram igualdade, diferindo das demais, sendo a temperatura de 10°C a que apresentou a maior média de germinação (29,4%); no tempo 60 dias as temperaturas de 30 e 40°C apresentaram igualdade, diferindo das demais, sendo a temperatura de 10°C a que apresentou maior média de germinação (24,87%); nas demais condições de tempo houve variação para germinação em todas as temperaturas, sendo na temperatura de 10°C a que apresentou as maiores médias de germinação de 30%, 29,60%, 32, 80% e 27,67%, aos 90, 120, 150 e 180 dias, respectivamente; no tempo 150 dias na temperatura de 10°C obteve-se a maior média de germinação no decorrer do experimento (32,80%).

Verifica-se que as menores médias de germinação para interação temperatura x tempo de armazenamento ocorreram na temperatura de 40°C. Provavelmente sementes de amendoim armazenadas por períodos longos em altas condições de temperatura tendem a perder seu poder de germinação.

Tabela 3.7. Valores médios da germinação (%) para a interação Temperatura x Tempo de sementes de amendoim da cv. BRI sob condições controladas armazenadas por 180 dias.

T °C	Tempo (dias)					
	30	60	90	120	150	180
10	29.40aB	24.87aC	30,00aAB	29.60aAB	32.80aA	27.67aBC
20	19.33bAB	20.47bA	19.13bAB	15.53bC	14.80cC	16.80bBC
30	17.33bAB	11.93cC	13.73cC	17.07bAB	18.93bA	14.40bBC
40	10.73cAB	11.53cA	9.87dAB	7.73cB	10.33dAB	9.67eAB
DMS (C)	2,9979					
DMS (L)	3,3294					

As médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para os tempos de armazenamento em função da umidade relativa, houve variação para as umidades relativas (Tabela 3.8); onde no tempo 30 dias as umidades relativa de 10, 20 e 30% apresentaram igualdade, diferindo da demais; no tempo 60 dias as umidade relativa de 10 e 30% apresentaram igualdade, diferindo das demais, onde a umidade relativa de 70% apresentou a menor média para germinação (2,42%); no tempo 90 dias as umidade relativa de 30 e 50% apresentaram igualdade, diferindo das demais, sendo a umidade relativa de 10% a que apresentou maior média para germinação (27,67%); aos 120 dias de armazenamento, as amidades relativas de 10 e 70% apresentaram igualdade, diferindo das demais; no tempo 150 dias, as umidade relativa de 30, 50 e 70% apresentaram igualdade, diferindo das demais, onde UR 10% = UR 90%. Aos 180 dias de armazenamento, as amidades relativa de 10, 30 e 50% apresentaram igualdade, diferindo das demais. Observa-se que a germinação diminuiu à medida que a umidade relativa aumentou em função do tempo de armazenamento.

Tabela 3.8. Valores médios da germinação (%) para a interação Umidade Relativa x Tempo de sementes de amendoim da cv. BRI sob condições controladas armazenadas por 180 dias.

UR (%)	Tempo (dias)					
	30	60	90	120	150	180
10	26.00aA	25.50 aA	27.67 aA	21.00 abB	13.42 bC	20.92 abB
30	23.41 aA	24.00 aA	12.00 dB	8.33 dB	25.00 aA	24.17 aA
50	24.92 aA	19.33 bB	8.83 dC	18.08 bcB	21.50 aAB	20.33 bB
70	8.00 cC	2.42 dD	23.00 bA	23.25 aA	23.42 aA	16.67 cB
90	13.67 bBC	14.75 cBC	19.42 cA	16.75 cAB	12.75 bC	3.58 dD
DMS (C)	3,5626					
DMS (L)	3,7224					

As médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.3. Vigor das sementes de amendoim

Os resultados das médias do vigor (%) das sementes de amendoim em função do tempo de armazenamento, da umidade relativa e da temperatura, se encontram na Tabela C3 do apêndice. Na mesma tabela, verifica-se que o vigor das sementes armazenadas sob condições controladas, obtiveram comportamento semelhante ao da germinação, visto que o teste realizado, primeira contagem, foi realizado em conjunto com o teste de germinação. Ao término do experimento, observa-se que a menor redução de 37% do vigor, ocorreu na temperatura de 10°C na umidade relativa de 62,15%.

Na Figura 3.9, 3.10, 3.11 e 3.12, encontram-se os resultados experimentais e calculados do vigor das sementes de amendoim através de um modelo cúbico, em função do tempo de armazenamento e umidade relativa e para as temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C, respectivamente.

Os resultados obtidos de vigor das sementes de amendoim realizado pela primeira contagem do teste padrão de germinação seguem uma tendência semelhante ao que foi constatado na germinação. Pode-se observar na Figura 3.9, que o comportamento do vigor das sementes de amendoim decresceu de forma linear, em função dos maiores valores da umidade relativa e do tempo de armazenamento. De acordo com MARCOS FILHO (1999a), principalmente quando os lotes de sementes possuem poder germinativo semelhante, os testes

vigor têm como objetivo básico, identificar diferenças sutis importantes no potencial fisiológico dos lotes.

Os valores do vigor variaram entre 63% aos 30 dias de armazenamento, para umidade relativa de 5,4%, enquanto que aos 180 dias de armazenamento, com umidade relativa de 86,77%, obteve-se índice de 0% (zero) de germinação, Figura 3.9. Fatores como alto teor de água da amostra, 18,80% (b.s.), bem como atividade biológica causada por fungos, explicam a diminuição do vigor para essa condição de armazenamento. AZEREDO et al. (2005), trabalhando com armazenamento amendoim da cultivar BR1, nas condições controladas de 20°C de temperatura e 65% de umidade relativa, observou que as sementes obtiveram perdas significativas do vigor a partir do terceiro mês de armazenamento. Em estudos ALMEIDA & MORAIS (1997), concluíram que, em nível de laboratório, o vigor das sementes de amendoim pode ser determinado pela primeira contagem do teste padrão de germinação. Resultados distintos foram encontrados por PEREIRA & ROSSETTO (2005), os quais observaram que o testes de vigor de primeira contagem de germinação não foi eficiente para promover a separação dos lotes em diferentes níveis de vigor nas sementes das cultivares Tatu ST, Botucatu, BR 1, devido aos altos valores de coeficiente de variação obtidos de 64,39%; 52,22%; 63,63%, respectivamente. De acordo com FONSECA (2005), a umidade relativa do local menor que 70% e temperatura variando entre 0 e 10°C propiciam ótimas condições de armazenamento.

Na temperatura de 10°C, com umidade relativa de 62,15%, obteve-se o valor de 45% de vigor, para as condições especificadas, aos 180 dias de armazenamento, seguindo o mesmo comportamento da germinação. O teor de água dessa amostra foi 8,57% (b.s.), pouco diferindo do teor de água da implantação, 8,67% (b.s.).

Vigor das sementes de amendoim

$$V = 73,6035 - 0,3511 UR - 0,3511 t + 0,00039 t^2 + 0,00527 t UR + 0,00873 UR^2 + 0,000001 t^3 - 0,000059 UR^3 - 0,000058 t UR^2 - 0,000002 t^2 UR \quad R^2 = 84,5 \%$$

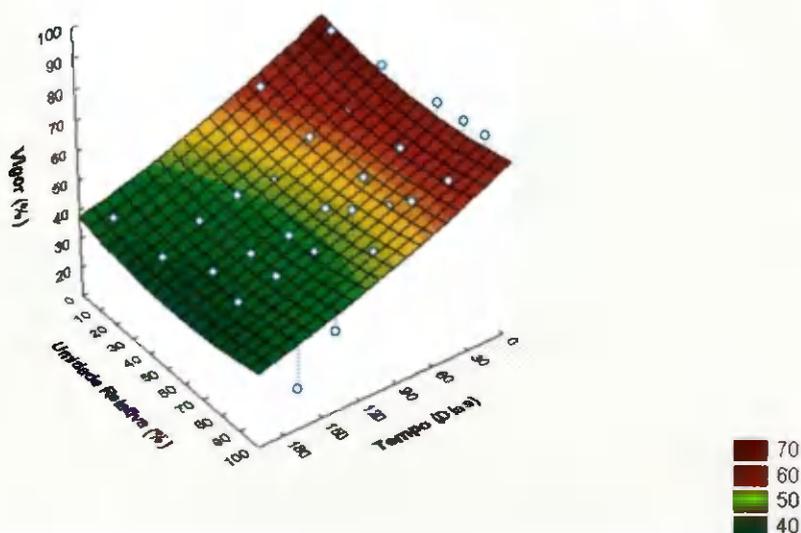
Temperatura 10°C

Figura 3.9. Superfície de resposta do vigor (%) das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento (180 dias) para a temperatura de 10°C.

Os resultados do vigor, em função da umidade relativa e do tempo, diminuíram no decorrer do armazenamento, à medida que umidade relativa aumentou. Os valores do vigor variaram entre 55% aos 30 dias de armazenamento, chegando a 0% (zero) a partir dos 150 dias, para as umidades relativas de 74,47 e 85,11%. Resultado esse que pode ser visualizado na Figura III. 10, onde a curva da superfície de resposta tende a desaparecer aos 150 e 180 dias de armazenamento para as umidades relativas de 74,47 e 85,11%. As amostras de amendoim armazenadas nessas condições estavam com teor de água entre 10,4 e 15,42% (b.s.). O melhor índice de vigor de sementes de amendoim, a 20°C de temperatura, ocorreu na umidade relativa de 59,14%, com valores de 41% de vigor, no final do experimento. AZEREDO et al.(2005), concluíram que sementes de amendoim, extraídas dos frutos, mantidas em ambiente não controlado, perdem acentuadamente o seu vigor após seis meses de armazenamento.

Vigor das sementes de amendoim

$$V = 72,8602 - 0,7083 UR - 0,7083 t + 0,00541 t^2 + 0,00564 t UR + 0,02357 UR^2 - 0,000018 t^3 - 0,00019 UR^3 - 0,000091 t UR^2 + 0,000005 t^2 UR \quad R^2 = 89,3 \%$$

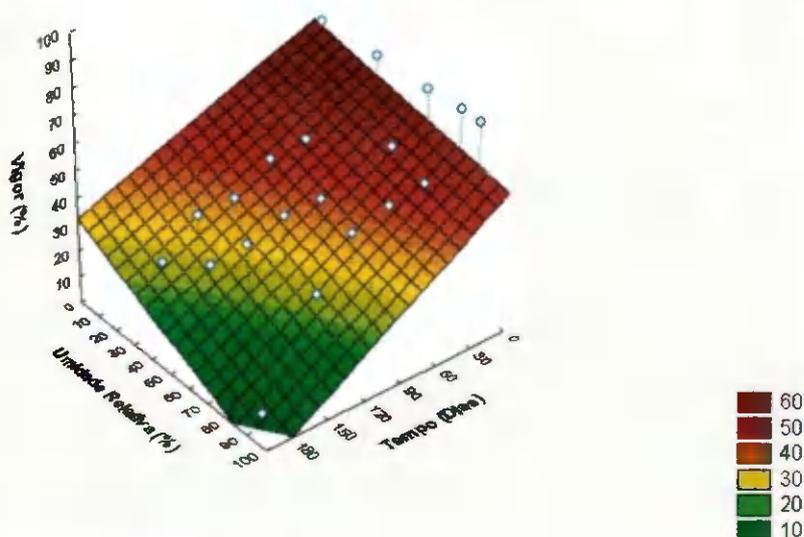
Temperatura 20°C

Figura 3.10. Superfície de resposta do vigor (%) das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento (180 dias) para a temperatura de 20°C.

Verifica-se que o vigor das sementes de amendoim, para temperatura de 30°C, em função da umidade relativa e do tempo de armazenamento, teve uma diminuição gradativa no decorrer do armazenamento, sendo mais visível nos altos valores de umidade relativa (Figura 3.11.). Os valores de germinação variaram entre 52% aos 30 dias de armazenamento, para umidade relativa de 56,03%, até 0% (zero), a partir dos 60 dias de armazenamento para umidade relativa de 83,62%. Nesse momento o teor de água verificado foi de 12,68% (b.s.). A germinação também foi 0% (zero) a partir dos 120 dias de armazenamento, para a umidade relativa de 75,09%, cujas amostras estavam com teor de água de 9,49% (b.s.). Na temperatura de 30°, o melhor índice de vigor foi obtido na umidade relativa de 56,06%, no final do experimento, com valores de 38%. Essa perda de vigor pode ser explicada, provavelmente, devido aos altos teores de água observados nas amostras, bem como atividade biológica causada por fungos de armazenamento. Quanto à contaminação por fungos, a alta incidência de *Aspergillus* spp. e de *Rhizopus* spp. limita a estimativa do vigor das sementes de

amendoim, pois estes microrganismos influenciam na deterioração das sementes durante o teste (ROSSETTO et al., 2003; FREITAS, 2000)

Vigor das sementes de amendoim

$$V = 72,0202 - 0,7114 UR - 0,7114 t + 0,00679 t^2 - 0,0031 t UR + 0,03067 UR^2 - 0,000022 t^3 - 0,00028 UR^3 - 0,000051 t UR^2 + 0,000003 t^2 UR \quad R^2 = 91,8 \%$$

Temperatura 30°C

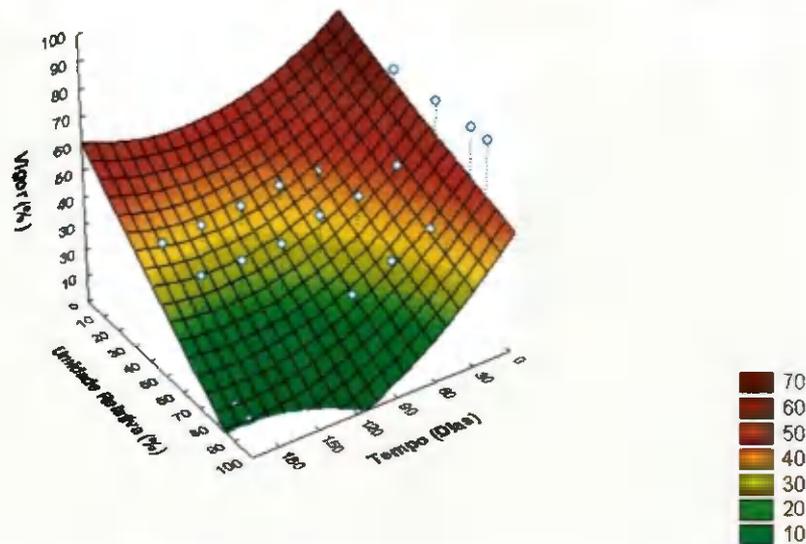


Figura 3.11. Superfície de resposta do vigor (%) das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento (180 dias) para a temperatura de 30°C.

Para temperatura de 40°C, Figura 3.12, as sementes de amendoim tiveram seu vigor reduzido de uma forma brusca, variando em função da umidade relativa e do tempo de armazenamento. Ou seja, os valores de vigor variaram entre 45 e 0% (zero), aos 30 dias de armazenamento para umidades relativas de 12,5 e 82,32%, respectivamente. O teor de água observado para essas amostras foram de 4,14 e 12,11% (b.s.), respectivamente. Verifica-se que não houve vigor 0% (zero), na temperatura de 40°C, para umidade relativa de 82,32%, onde os valores de teor de água variaram entre 9,31 e 12,11% no decorrer do armazenamento. Mesmo com a alta temperatura de 40°C, o melhor índice obtido foi de 22%, na umidade relativa de 31,6%, ao término do experimento. Em outra oportunidade, sementes armazenadas em sacos de algodão, sob condições ambientais sob 26°C de temperatura média e umidade relativa de 64%, durante dez meses, apresentaram um decréscimo contínuo do vigor no decorrer do armazenamento (ALMEIDA et al. 1997).

Para testemunha, armazenada em condições ambientais, os valores do vigor foram decrescentes em função da umidade relativa e do tempo de armazenamento, Tabela C3 do apêndice. No caso dos 30 dias de armazenamento, o valor do vigor foi de 48%, sofrendo uma diminuição no decorrer do armazenamento, chegando a 0% aos 180 dias de armazenamento, em condições ambientais.

Vigor das sementes de amendoim

$$V = 79,9858 - 0,9678 UR - 0,9678 t + 0,00878 t^2 - 0,0049 t UR + 0,0274 UR^2 - 0,000031 t^3 - 0,00023 UR^3 - 0,000039 t UR^2 + 0,000048 t^2 UR \quad R^2 = 89,4 \%$$

Temperatura 40°C

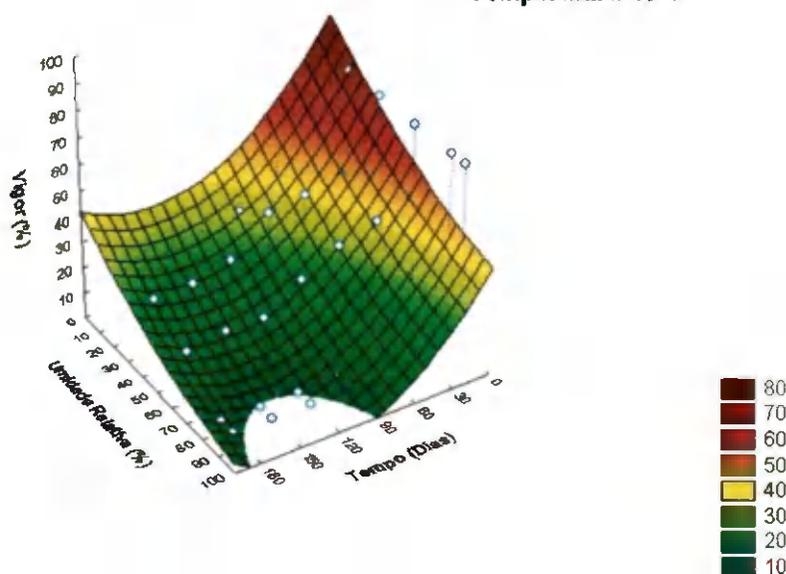


Figura 3.12. Superfície de resposta do vigor (%) das sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento (180 dias) para a temperatura de 40°C.

Observando-se o resultado da Tabela 3.9, com a variação da temperatura, verifica-se que o modelo cúbico representa satisfatoriamente os dados experimentais e calculados para a germinação (%) de sementes de amendoim na temperatura de 30°C, já que o valor de R^2 foi acima de 90% e baixo erro relativo, de 5,12%. Para as demais temperaturas, o modelo cúbico não foi tão satisfatório, onde os valores de R^2 variaram entre 84,5 e 89,4%, com erros relativos entre 6,06 e 8,62%. Analisando-se a distribuição dos valores residuais do modelo matemático estudado, observa-se que todas as temperaturas apresentaram o comportamento aleatório, sugerindo que o modelo utilizado, na temperatura de 30°C, pode representar satisfatoriamente os vigor (%) de sementes de amendoim.

Tabela 3.9. Coeficientes de determinação (R^2), erros relativos (P) e tendência de distribuição de resíduos do modelo cúbico do vigor de sementes de amendoim armazenadas por 06 meses sob condições controladas de temperatura (10, 20, 30 e 40°C) e umidade relativa do ar (10, 30, 50, 70 e 90%).

Temperatura °C	R^2 (%)	P (%)	Tendência
10	84,5	6,06	Aleatória
20	89,3	5,18	Aleatória
30	91,8	5,12	Aleatória
40	89,4	8,62	Aleatória

Observa-se nas Tabelas 3.10, 3.11 e 3.12, os resultados da interação da germinação de sementes de amendoim armazenadas sob condições controladas por 6 meses.

Verifica-se para as umidades relativas em função das temperaturas, que houve variação para vigor entre as temperaturas (Tabela 3.10); nas umidades relativa de 10, 30 e 50%, houve variação para o vigor do amendoim em todas as temperaturas, sendo que na umidade relativa de 10% observa-se a maior média do vigor (29,22%) no decorrer do experimento; na umidade relativa de 70%, verifica-se variação nas temperaturas de 10 e 20°C; na umidade relativa de 90%, foi registrada igualdade entre as temperaturas de 20 e 30°C, onde a temperatura de 40°C obteve a menor média para vigor (4,5%) para a condição experimental.

A variação do vigor observada na interação temperatura x umidade relativa, se deve as condições de elevadas umidades relativas e temperaturas que as sementes de amendoim foram submetidas. Provavelmente, verifica-se que em altas condições de temperatura e altas condições de umidade relativa, as sementes de amendoim tendem a perder seu vigor no decorrer do armazenamento.

Tabela 3.10. Valores médios do vigor (%) para a interação Temperatura x Umidade Relativa de sementes de amendoim da cv. BR1 sob condições controladas armazenadas por 180 dias

Temperatura °C	Umidade Relativa (%)				
	10	30	50	70	90
10	29.22 aA	24.11 aB	18.78 bD	20.00 aCD	21.83 aBC
20	16.50 cBC	14.33 cC	24.44 aA	17.83 aB	8.00 bD
30	20.33 bA	17.39 bB	8.17 dD	14.22 bC	10.11 bD
40	11.00 dB	9.28 dB	15.28 cA	9.33 cB	4.50 cC
DMS (C)	2,59				
DMS (L)	2,75				

As médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Valor inicial do vigor = 71%.

Verifica-se para os tempos de armazenamento em função das temperaturas, que houve variação para vigor entre as temperaturas (Tabela 3.11); no tempo 30 dias verifica-se igualdade nas temperaturas de 30 e 40°C, diferindo das demais, sendo na temperatura de 10°C o maior valor do vigor (24,13%); no tempo 60 dias, observa-se igualdade nas temperaturas 10 e 20°C, diferindo das demais, onde T 30°C = T 40°C. Nos tempos de 90, 120, 150 e 180 dias, verifica-se igualdade nas temperaturas de 20 e 30°C, diferindo das demais, sendo observado na temperatura 10°C as maiores médias para o vigor de 23,20%, 22% 25,80% e 21,67%, para os tempos de 90, 120, 150 e 180 dias, respectivamente. Observa-se que, em altas temperaturas, o vigor do amendoim tende a diminuir em função do tempo de armazenamento.

Tabela 3.11. Valores médios do vigor (%) para a interação Temperatura x Tempo de sementes de amendoim da cv. BR1 sob condições controladas armazenadas por 180 dias

T °C	Tempo (dias)					
	30	60	90	120	150	180
10	24.13 aAB	19.93 aC	23.20 aAB	22.00 aBC	25.80 aA	21.67 aBC
20	17.93 bA	18.13 aA	17.67 bA	14.20 bB	14.13 bB	15.27 bAB
30	13.33 cAB	12.00 bB	14.93 bAB	16.47 bA	13.87 bAB	13.67 bAB
40	10.53 cAB	11.47 bA	9.73 cAB	7.67 cB	10.27 cAB	9.60 cAB
DMS (C)	2,84					
DMS (L)	3,15					

As médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Verifica-se para os tempos de armazenamento em função das umidades relativas, que houve variação para vigor entre as umidades relativas (Tabela 3.12); no tempo 30 dias, houve igualdade entre as umidades relativas de 10 e 50%, e o mesmo entre as umidades relativas de 70 e 90%, tendo as quais diferido das demais; no tempo 60 dias observa-se uma igualdade entre as umidades relativas de 30 e 50%, por sua vez, estas umidades diferiram das demais, onde a maior média do vigor (23,42%) ocorreu na umidade relativa de 10%; no tempo 90 dias pode-se observar que houve igualdade entre as umidades relativas de 10 e 70%, diferindo dos demais; no tempo de 120 dias observa-se uma igualdade nas umidades relativas de 10 e 90%, diferindo das demais, sendo a umidade relativa de 70%, a maior média para o vigor (22,42%) nesse tempo; no tempo de 150 dias observa-se que houve igualdade entre as umidades relativas de 30 e 70%, diferindo das demais; o tempo de 180 dias, verifica-se uma superioridade das umidades 10, 50 e 70%, as quais não diferiram entre si, em relação as demais umidades estudadas, sendo na umidade relativa de 90% a menor média do vigor (3,0%) durante todo o experimento.

Tabela 3.12. Valores médios do vigor (%) para a interação Umidade Relativa x Tempo de sementes de amendoim da cv. BR1 sob condições controladas armazenadas por 180 dias

Umidade Relativa (%)	Tempo (dias)					
	30	60	90	120	150	180
10	23.08 abA	23.42 aA	23.92 aA	16.92 bB	11.00 cC	17.25 bB
30	19.92 bA	19.17 bA	9.67 cB	5.75 cC	21.50 abA	21.67 aA
50	23.33 aA	17.17 bcB	7.25 cC	15.58 bB	18.67 bB	18.00 bB
70	7.08 cC	2.25 dD	22.00 abA	22.42 aA	23.00 aA	15.33 bB
90	9.00 cC	14.92 cB	19.08 bA	14.75 bB	5.92 dCD	3.00 cD
DMS (C)	3,37					
DMS (L)	3,52					

As médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.4. Contaminação por fungos

Durante a realização do teste de germinação em papel *germitest*, identificou-se a presença fungos nas sementes de amendoim, utilizadas no referido teste. Os fungos são os principais componentes da microflora presentes nos grãos armazenados e constituem a principal causa das deteriorações e perdas constatadas durante o armazenamento (PUZZI, 2000). O amendoim é um produto com altos riscos de contaminação por aflatoxinas, dentre as condições favoráveis destaca-se a elevada temperatura durante o armazenamento (FONSECA, 2006).

Com exceção da umidade relativa entre 4,1 e 12,5% nas temperaturas estudadas (10, 20, 30 e 40°C), todas as demais umidades relativas, variando entre 33,07 e 86,77% tiveram a presença de fungos durante o teste de germinação. Os resultados de iscnção de fungos a baixas umidades relativas concordam com MARCOS FILHO (2001b), onde o mesmo constatou que, a baixa umidade relativa do ar promovida pela adição de solução saturada de sais impede o crescimento de microrganismos, minimizando a preocupação com o efeito de patógenos associados às sementes sobre os resultados do teste de vigor.

Uma das explicações para o excesso de fungos foi devido às sementes de amendoim não terem sido tratadas de forma preventiva, como uso de fungicidas ou inseticidas. MEDINA et al. (1995), estudando o armazenamento de sementes de amendoim tratadas com inseticidas e fungicidas, constataram que o tratamento com fungicida, anteriormente ao armazenamento, constituiu-se numa alternativa adequada para evitar o ataque de fungos e insetos, preservando o poder germinativo de sementes. Para todas as umidades relativas e temperatura, no decorrer dos 180 dias de armazenamento, foram identificados os fungos: *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus parasiticus*, *Rhysopus* spp., *Penicilium* spp. Tais resultados condizem com os resultados obtidos por NOBREGA & SUASSUNA (2004), onde analisando sementes de amendoim foram identificados os seguintes fungos: *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Fusarium* sp., *Rhizoctonia* spp., *Rhizopus* spp., *Sclerotium* spp e *Phoma* spp. Observou-se que as sementes afetadas apresentaram-se cobertas por uma camada de coloração amarelo-esverdeada, constituída de esporos dos fungos.

Vale destacar que as sementes analisadas no presente trabalho estavam contaminadas simultaneamente por mais de uma espécie de fungo, resultados estes semelhante aos encontrados por (NOBREGA & SUASSUNA, 2004). LIMA & ARAÚJO (1999), relatam que

sementes de amendoim infectadas principalmente com *Aspergillus flavus* tem sua qualidade reduzida mais rapidamente que outras espécies. Segundo MORAIS & MARIOTTO (1985), os fungos *Aspergillus*, *Penicilium* e *Rhizopus* se destacam pela frequência com que ocorrem em sementes de amendoim e pela sua ação sobre elas, prejudicando a germinação ou causando tombamento das plantas após a germinação.

Em parte, essa contaminação das sementes amendoim por fungos, está associada aos valores reduzidos de germinação para alguns tratamentos. No tratamento representado pela temperatura de 10°C, umidade relativa de 86,77%, aos 180 dias de armazenamento, foi identificada a presença dos fungos *Rhizopus stolonifer*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus Níger*, *Aspergillus parasiticus* (Figura 3.13). Para as mesmas condições observou-se que o teor de água dessa amostra foi de 18,80% (b.s.). Estes mesmos resultados foram confirmados por BAKKER-ARKEMA (1999), os quais relatam que as condições para o crescimento de fungos *Aspergillus flavus* e *Aspergillus parasiticus* em grãos para temperatura entre 25 e 27°C, são de 82% de umidade relativa e teor de água entre 15 e 18%. Os fungos de armazenamento são capazes de sobreviver em ambientes com teores de água entre 13 e 18%, proliferando em sucessão aos fungos de campo e causando deterioração das sementes (CARVALHO & NAKAGAWA, 2000).



Figura 3.13. Amostra de amendoim sadia, presença de *Aspergillus flavus* e amostra não germinada, da esquerda para direita.

Para temperatura de 20°C, no decorrer do armazenamento foram identificados os mesmos fungos presentes na temperatura de 10°C, (Figura 3.14). Esses microorganismos são conhecidos como típicos de armazenamento, podendo prejudicar a qualidade das sementes, decorrente de sua deterioração (CARVALHO & NAKAGAWA, 2000). Nas condições de umidade relativa de 75,47 e 85,11% e aos 150 dias de armazenamento, os valores de germinação e vigor foram 0% (zero). Nessas mesmas amostras identificou-se a presença de *Aspergillus flavus*, havendo contribuído favoravelmente os teores de água da semente no valor

de 10,4 e 13,83% (b.s.). Estas mesmas condições foram relatadas por DHINGRA & COELHO NETO (1998), em que no armazenamento, o crescimento de *Aspergillus flavus* depende quase que exclusivamente do teor de água dos grãos em equilíbrio com a umidade relativa do ar, sendo que a temperatura determina a velocidade de crescimento.

Verifica-se que, à medida que a umidade relativa aumentou, em função do tempo de armazenamento, ocorreu uma perda brusca no potencial fisiológico, como consequência do processo de deterioração das sementes de amendoim. VANZOLINE et al. (2000), ao realizarem a análise de sanidade das sementes de amendoim, detectaram várias espécies de fungos, sendo de maior incidência *Aspergillus* spp. e *Penicillium* spp. MARIOTTO (1986), afirma que, fungos como estes, considerados de pouca importância em sementes de outras culturas, têm ocorrência constante e intensidade elevada em sementes de amendoim, consequentemente tais infestações estão associadas a sementes de baixo poder germinativo.



Figura 3.14. Sementes de amendoim atacadas por várias espécies de fungos simultaneamente.

Para temperatura de 30°C, armazenadas por 180 dias, e umidade relativa variando entre 10 e 83,62%, verificou-se que as condições ambientais de alta umidade relativa favoreceram intensamente o desenvolvimento de fungos. As espécies de fungos identificadas são as mesmas ocorridas nas temperaturas de 10 e 20°C, com o diferencial que, para temperatura de 30°C, alguns tratamentos obtiveram índices de 0% (zero) de germinação e vigor, para as seguintes condições: aos 60 dias de armazenamento, com umidade relativa de 83,62%, e teor de água de 12,68% (b.u.). A temperatura favorável ao desenvolvimento de fungos no armazenamento de grãos em geral é de 30 a 32°C. Para a espécie *Aspergillus flavus*, a temperatura determina a velocidade de desenvolvimento e é considerada ótima entre 30°C e 35°C (SOAVE & WETZEL, 1987.).

Devido à alta incidência de fungos no decorrer do armazenamento, as condições de alta umidade relativa foram prejudiciais para o armazenamento de sementes de amendoim

(Figura 3.15). Em estudos realizados ROSSETTO et al., (2003) e FREITAS (2000), afirmam que alta incidência de *Aspergillus* spp. e de *Rhizopus* spp. limita a estimativa do vigor das sementes de amendoim, pois estes microrganismos influenciam na deterioração das sementes durante o teste. Aos 150 dias de armazenamento, para umidade relativa de 75,09%, os valores de germinação e vigor foram de 0% (zero), certamente, devido à presença de fungos, já que a amostra estava com teor de água de 9,59% (b.s.). CAVALCANTI MATA et al. (2006), relata que a condição de alta umidade relativa do ar leva ao desenvolvimento de fungos, resultando em aumento de temperatura da massa de sementes e do teor de água dessas sementes, sendo necessário a redução dessa atividade biológica.



Figura 3.15. Sementes de amendoim armazenadas a temperatura de 40°C e umidade relativa de 82,32%.

Observou-se que nas condições de 40°C, 30 dias de armazenamento e 82,32% de umidade relativa, os valores de germinação e vigor foram de 0% (zero). Este fenômeno pode ser explicado pela condição do ambiente saturado devido à elevada umidade relativa e pelo valor elevado da temperatura (40°C), causando um aquecimento da massa de grãos e, conseqüentemente, perda da sua viabilidade. ALMEIDA et al. (2006), consideram que, em temperaturas elevadas, o sistema enzimático da semente é ativado, acelerando o processo de respiração, permitindo uma maior atividade de microorganismos.

O mesmo comportamento para germinação e vigor observado na condição anterior, ocorreu para umidade relativa de 74,68%, a partir dos 90 dias de armazenamento, com teores de água variando entre 9,31 a 12,11% (b.s.) a partir do período especificado até os 180 dias de armazenamento (Figura 3.16). A ação combinatória da temperatura e do teor de água de sementes exerce efeito significativo sobre a manutenção da qualidade fisiológica do produto (JERÔNIMO, 2004). CRISEO et al. (1990), afirmam que a faixa de temperatura ideal para a produção de aflatoxina é de 25° C a 40° C. Quanto à umidade, SEBUNYA & YOURTEE (1990), reportaram que a umidade relativa ideal é de 86% a 87%. FREIRE et al. (2005),

relatam que, para que haja desenvolvimento de fungos que produzam aflatoxina, é necessário uma umidade relativa no mínimo de 78 a 84% ou máxima de 95 a 0,99%. Esses autores reforçam que a interação entre a temperatura e a umidade relativa é o fator mais significativo para impedir a proliferação de aflatoxinas.



Figura 3.16. Sementes de amendoim não germinadas e amostras de sementes atacadas por fungos, da esquerda para direita.

5. CONCLUSÕES

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

O teor de água das sementes de amendoim varia em função da umidade relativa, temperatura e do tempo de armazenamento;

A menor oscilação do teor de água das sementes de amendoim armazenadas ocorreu na umidade relativa do ar de 62,15% na temperatura de 10°C;

O elevado teor de água favorece o processo de deterioração das sementes de amendoim, através da perda da germinação, do vigor e o surgimento de fungos no armazenamento;

As sementes de amendoim perdem seu poder germinativo no decorrer do tempo em ambientes de altas umidades relativas e altas temperaturas;

Ao término do experimento, a maior germinação e vigor (45%) das sementes de amendoim ocorreu na umidade relativa do ar de 62,15% na temperatura de 10°C;

A germinação das sementes de amendoim chegou a 0% (zero) aos 30 dias de armazenamento na umidade relativa de 82,32% na temperatura de 40°C;

O vigor das sementes de amendoim tende a 0% (zero) no decorrer do tempo em ambientes de altas umidades relativas e altas temperaturas;

A perda do vigor das sementes de amendoim possuem uma relação direta com os fungos durante o armazenamento.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ABDUL-BAKI, A.A.; ANDERSON, J.D. Physiological and biochemical deterioration of seeds. In: KOZLOWSKI, T.T., Ed. **Seed Biology**. New York, Academic Press, v. 2., p.283-315, 1972.

ALMEIDA, F. de A. C. **Efeito da temperatura e umidade relativa do ar sobre a germinação, vigor e grau de umidade de sementes armazenadas de algodão (*Gossypium hirsutum* L.r. *latifolium* HUTCH)**. 1981. 65f. Dissertação (Mestrado) – UFPB, Areia, PB.

ALMEIDA, F. de A.C.; MORAES, J. de S. Efeitos do beneficiamento, tipos de embalagem e ambiente na qualidade fisiológica de sementes de amendoim. **Revista Brasileira do Armazenamento**, v.22, n.2, p.27-32, 1997.

ALMEIDA, F. A.C.; MORAES, J. S.; SANTOS, R.C.; Araújo, E. Influência da embalagem e do ambiente de armazenamento na qualidade sanitária de sementes de amendoim. **Revista de Oleaginosas e Fibras**, v.2, n.2, p.97-102, 1998.

ALMEIDA, F. A. C.; FONSECA, K. S.; GOUVEIA, J. P. G. Influência da embalagem e do local de armazenamento na qualidade fisiológica de sementes de gergelim. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.2, p.195-201, 1999.

ALMEIDA, F. A. C.; DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. **Teor de água na semente e sua relação com a tecnologia do armazenamento**. In: ALMEIDA, F. A. C.; DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M (Org.). **Tecnologia de armazenagem em sementes**. 1 ed. Campina Grande, PB: UFCG, 2006, p. 147-188.

ALVES, N. M. C. **Comportamento da micoflora e da aflatoxina em sementes de amendoim tratadas com extratos vegetais e radiação gama**. 2008. 125f. Dissertação (Mestrado) – UFCG - Campina Grande, PB.

ARAÚJO, E.; ROSSETO, E.A. **Doenças e injúrias de sementes**: In: SOAVE, J.C.; WETZEL, M.M.V.S. eds. *Patologia de sementes*. Campinas: Fundação Cargill/ABRATES-COPASEM, 1977. p.146-163

AZEREDO, G. A.; BRUNO, R. L. A.; LOPES, K. P.; SILVA, A.; DINIZ E.; LIMA, A. A. Conservação de sementes de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) em função do beneficiamento, embalagem e ambiente de armazenamento. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.35, n.1, p.37-44, 2005

BAKKER-ARKEMA, F. W. **CIGR Handbook of Agricultural Engineering Volume IV Agro-Processing Engineering**, Published by: American Society of Agricultural Engineers. 1999. 527 p.

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. 399p.

BRUNO, R.L.A.; AZERÊDO, G.A.; QUEIROGA, V.P.; ARAÚJO, E.; DINIZ, E. Qualidade fisiológica e micoflora de sementes de amendoim ev. Br-1 durante o armazenamento. **Revista de Oleaginosas e Fihrosas**, v.4, n.3, p.141-152, 2000.

CAPPELLARO C.; BAUDET, L.; PESKE, S.; ZIMMER, G. Qualidade de sementes de feijão armazenadas em embalagens plásticas resistentes a trocas de umidade. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 15, n. 2, p. 233-239, 1993.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciências, tecnologia e produção**. 4 ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588p.

CAVALCANTI MATA, M.E.R.M. **Secagem em nível de produtor**. In: HARA, T.; ALMEIDA. F. A.C.; CAVALCANTI MATA, M.E.R.M. (Org.) *Armazenamento de grãos e sementes nas propriedades rurais*. Ed. Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. Cap.2, p. 52-133.

CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; ALMEIDA, F. A. C. ; DUARTE, M. E. M. **Secagem de sementes**. In: ALMEIDA, F. A. C; DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. (Org.). *Tecnologia de armazenagem em sementes*. 1 ed. Campina Grande, PB: UFCG, 2006, v. 1, p. 271-370.

COPELAND, L. O. **Principles of seed science and technology**. Minnesota: Burgess, 1976. 369 p.

CORRÊA, P.C.; GONELI, A.L.D. **Teor de umidade de grãos e sementes**. Viçosa: UFV, 2005. 14p.

CRISEO, G.; URZI, C.; PERNICE, I.; MEDICI, M.A. Growth aflatoxin production by *Aspergillus flavus* under cycling temperatures. **Journal of Food Science**, n.1, p. 43-51, 1990.

CUSTÓDIO, C.C.; MARCOS FILHO, J. Potassium leachate test for the evaluation of soybean seed physiological quality. **Seed Science & Technology**, v. 25, p. 549-564, 1997.

DINIZ, E; SILVA, C. L.; MUNIZ, M. B.; QUEIROGA, V. P.; BRUNO, R. L. A. Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de amendoim (*arachis hypogaea* l.) armazenadas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.3, n.1, p.61-72, 2001

DHINGRA, O. D. Prejuízos causados por microrganismos durante o armazenamento de sementes. **Revista Brasileira de sementes**, v. 7, n. 1, p.139-145, 1985.

DHINGRA, O.D.; COELHO NETO, R.A. Micotoxinas em grãos. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v.6, n.1, p.49-101, 1998.

FIGLIORINI, R. **Princípios de secagem de produtos biológicos**. Ed. João Pessoa: Editora Universitária – UFPB, 2004. 229 p.

FONSECA, H. **Preservação e controle de micotoxinas em produtos agrícolas**. 2005. Boletim técnico n7. < <http://www.micotoxinas.com.br> > 03 de out. de 2007.

FONSECA, H. **Legislação sobre micotoxinas**. 2006. < <http://www.micotoxinas.com.br> > 10 de out. de 2007.

FREITAS, R.F. **Fungos associados a grãos de café (*Coffea arabica* L.) beneficiado de diversos municípios região Sui de Minas Gerais**. 2000. 95p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

FREIRE, R. M. M.; NARAIN, N.; MIGUEL, A. M. R. O.; SANTOS, R. C. **Aspectos nutricionais e seus derivados**. In: SANTOS, R. C.(Ed). O agronegócio do amendoim no Brasil. Campina Grande: Embrapa Algodão, p.390-420, 2005.

GODOY, I. J.; MORAES, S. A.; KASAI, F. S.; MINOTTI, D.; NOMI, A.K.; MAKIMOTO, P. **Prevenção de aflatoxina no amendoim**. Carapinas: Instituto Agrônomo, 2001. 22p.

GURJÃO, K. C. O. **Qualidade fisiológica, nutricional e sanitária de sementes de amendoim (*Arachis hypogaea* L.), produzidas no semi-árido nordestino**. 1995. 85f. Dissertação (Mestrado). UFPB, Campina Grande, PB.

HARRINGTON, J. Drying, storage and packaging: present status and future needs. In: SHORT COURSE FOR SEEDSMEN. **Mississippi State, Proceedings**, v.14, p.133-139, 1971.

HARRINGTON, J. F. **Seed storage and longevity**. In T.T. Kozlowski (Ed.). Seed Biology. Academic Press, New York. 1972. p.145- 245.

JERÔNIMO, E. S. **Crioarmazenagem de sementes de 5 espécies de oleaginosas de interesse econômico no nordeste brasileiro**. 2004. 57f. Dissertação (Mestrado) – UFCG - Campina Grande, PB

LABBÉ, L. M. B. **Armazenamento de sementes**. In: PESKE, S. T.; ROSENTHAL, M. D.; ROTA, G. R. M. Sementes fundamentos científicos e tecnológicos. Pelotas, RS, 2003. p. 366-414.

LAZZARI, F.A. **Umidade, fungos e micotoxinas na qualidade de sementes, grãos e rações**. Curitiba, 1993. 133 p.

LIMA, E. F.; ARAÚJO, A. E. Fungos causadores de tombamento, transportados e transmitidos através de sementes de amendoim. **Revista oleaginosas e fibrosas**, v.3, n.2, p.71-76, 1999.

MACHADO, J.C. **Patologia de sementes: fundamentos e aplicação**. Brasília: MEC/Lavras: ESAL/FAEPE, 1988. 106p

MARCOS FILHO, J. **Testes de vigor: Importância e utilização**. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D. E FRANÇA NETO, J.B.Z. (eds.). **Vigor de sementes**. Londrina: ABRATES, 1999a. p.1-20

MARCOS FILHO, J. **Teste de envelhecimento acelerado**. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B.Z. (eds.) **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999b. p.1-24.

MARIOTTO, P. R. Tratamento de sementes de amendoim. In: simpósio Brasileiro de Patologia de Sementes, 2º, Campinas, **Resumos**, Fundação Cargill, 1986, p.117-118.

MEDINA, P. F.; RAZERA, L. F.; ROSSETO, C. J. Armazenamento de sementes de amendoim tratadas com inseticidas e fungicidas. **Revista Brasileira de Sementes**, v.17, p.236-242, 1995.

MENON, J.C.; BARROS, A.C.S.A.; MELLO, V.D.C. & ZONTA, E.P. Avaliação da qualidade física e fisiológica da semente de soja produzida no Estado do Paraná, na safra 1989/90. **Revista Brasileira de Sementes**, v.15, n.2, p203-208, 1993.

MORAES, J. de S.. **Qualidade fisiológica de sementes de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) acondicionadas em três embalagens e armazenadas em duas microrregiões do Estado da Paraíba**. 1996. 99f. Dissertação (Mestrado) - UFPB, Carapina Grande, PB.

MORAIS, S. A.; MARIOTTO, P. R. Diagnóstico da patologia de sementes de amendoim no Brasil. **Revista Brasileira de Sementes**, v.7, n. 1, p.41-44, 1985.

NÓBREGA F. V. A; SUASSUNA, N. D Análise sanitária de sementes de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) armazenadas em algumas áreas do estado da Paraíba. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 4, n. 2, p.1-9, 2004.

NOGUEIRA, R.J.M.C.; TÁVORA, F.J.A.F. **Ecofisiologia do amendoim (*Arachis hypogaea* L.)** In: SANTOS R. C. (Ed.). O agronegócio do amendoim. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. p. 73-121.

PEREIRA, E. L.; ROSSETTO, C. A. V. Avaliação do vigor em sementes de amendoim. **Agronomia**, v.39, n.1-2, p.09 -16, 2005.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília: AGIPLAN, 1985. 289p.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília: AGIPLAN. 1977. 289p..

PUZZI, D. **Ahastccimento e armazenamento de grão**. Campinas, SP: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 2000. 666p.

ROSSETTO, C.A.V.; ARAÚJO, A.E.S.; LIMA, T.M. Avaliação da aplicação de fungicida às sementes de amendoim antes do envelhecimento acelerado. **Revista Brasileira de Sementes**, v.25, p.101-107, 2003.

RESENDE, J. C. F., M. S. REIS, V. S. ROCHA, T. SEDYIAMA & C.S. SEDYIAMA.. Efeito da época de colheita e condição de armazenamento na qualidade fisiológica de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill.). **Ceres**, v.43, p.17-27, 1996.

SANTACRUZ, V. A., O. A. MUÑOZ, G. F. CASTILLO & S. A. SARQUÉ. Germination of seeds of maize, beans, groundnuts and sesame stored under different conditions and in different types of container. **Agrociência**, v.31, n.2, p.177-185, 1999.

SEBUNYA, T.K.; YOURTEE, D.M. Aflatoxigenic Aspergilli in food and feed in Uganda. **Journal of Food Quality**, v.13, p.97-105, 1990.

SCHUCH, L. O. B.; NEDEL, J. L.; ASSIS, F. N. et al. Vigor de sementes e análise de crescimento de aveia preta. **Scientia Agricola**, v.57, n.2, p.305-312, 2000.

SILVA, F. A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V.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, 2006. p.393-396.

SILVA, C. C.; DEVILLA, I. A. **Higroscopia das folhas de louro (*Lauro nobilis* L.)**. 2008. Disponível em http://www.prp.ueg.br/06v1/ctd/pesq/inic_cien/eventos/sic2005/arquivos/agrarias/higroscopia.pdf. Acessado em 29 de setembro de 2008.

SOAVE, J.; WETZEL, M.M.V. (Eds) **Patologia de Sementes**. 5. Ed. Campinas. Fundação Cargil, 1987, p. 347-357.

SUASSUNA, T. M.F.; COUTINHO, W. M.; SOFIATTI, V.; SUASSUNA, N.D.; GONDIM, T.M. S. **Manual de Boas Práticas Agrícolas para a Produção do Amendoim no Nordeste do Brasil**, Embrapa Algodão, Campina Grande-PB, 2008. 27p. (Documentos, 207).

VANZOLINI, S.; TORRES, R. M.; PANIZZI, R. C. Efeito do tamanho, da densidade e do tratamento fungicida sobre a qualidade das sementes de amendoim. **Revista Ceres**, v.47, p.603-612, 2000.

VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. **Teste de vigor em sementes**. Jaboticabal:FUNEP, 1994. 164p.

Apêndice

Capítulo I

Tabela 1A. Massa específica real (kg.m^{-3}) das sementes de amendoim armazenadas sob condições controladas.

T °C	UR%	Massa específica real (kg.m^{-3})											
		Período de Armazenamento (dias)											
		30		60		90		120		150		180	
		Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%
10	5,4	1024,37	4,01	1075,59	1,78	1085,15	1,36	1098,93	0,64	1064,75	0,60	1066,90	1,31
	33,47	1036,21	1,56	1093,67	1,27	1059,42	4,61	1102,61	0,16	1085,37	0,39	1093,67	0,96
	62,15	1028,17	2,81	1124,25	1,81	1098,44	0,43	1107,94	0,68	1089,77	0,73	1097,80	0,42
	75,67	1004,07	6,09	1110,88	0,63	1098,09	0,64	1108,81	0,30	1104,21	0,72	1112,73	0,53
	86,77	1023,80	2,14	1094,88	0,19	1088,10	0,32	1103,12	1,31	1107,48	0,59	-	-
20	4,1	1049,99	5,00	1069,18	1,44	1085,32	0,99	1088,00	1,05	1081,49	1,05	1064,71	1,05
	33,07	1040,51	4,24	1125,58	0,68	1111,91	0,32	1120,65	0,18	1120,85	0,57	1100,89	0,41
	59,14	1072,97	11,06	1134,45	0,92	1113,25	1,17	1117,01	0,86	1116,75	0,30	1110,31	0,19
	75,47	1029,74	4,87	1119,02	0,25	1106,39	1,09	1113,71	0,47	-	-	-	-
	85,11	1013,39	2,13	1116,38	0,87	1096,91	0,72	1116,15	0,90	-	-	-	-
30	10	1053,32	5,73	1090,48	0,24	1052,53	0,23	1061,01	0,60	1130,91	2,84	1074,38	0,81
	32,44	1028,16	2,54	1115,26	0,58	1096,57	0,31	1097,01	0,49	1105,62	0,98	1105,31	0,86
	56,03	1031,83	3,38	1123,03	1,25	1109,78	0,25	1107,16	0,42	1110,22	0,86	1105,30	0,74
	75,09	1121,58	7,52	1110,01	1,90	1132,08	1,50	1103,17	0,77	-	-	-	-
	83,62	1075,05	4,20	1122,80	0,08	1116,82	0,68	1099,76	0,28	-	-	-	-
40	12,5	1027,86	3,18	1059,82	0,71	1068,58	0,88	1077,27	0,59	1059,27	1,23	1060,05	0,76
	31,6	1041,25	2,12	1110,92	0,64	1104,03	0,83	1110,63	1,82	1096,66	1,91	1089,26	1,12
	53,17	1059,34	3,24	1121,86	0,78	1123,47	0,56	1113,59	0,43	1100,33	2,32	1104,28	0,20
	74,68	1082,24	1,64	1119,63	0,95	1124,06	0,68	1094,91	1,84	-	-	-	-
	82,32	1080,11	0,17	1103,10	0,26	1126,80	0,48	-	-	-	-	-	-
Test		1081,18	4,58	1115,72	1,42	1108,14	0,62	1102,02	1,55	1113,46	1,02	1108,51	1,14

T – Temperatura, °C; UR – Umidade relativa, %; Test. – Testemunha. Valor inicial da massa específica real = $1013,25 \text{ kg.m}^{-3}$.

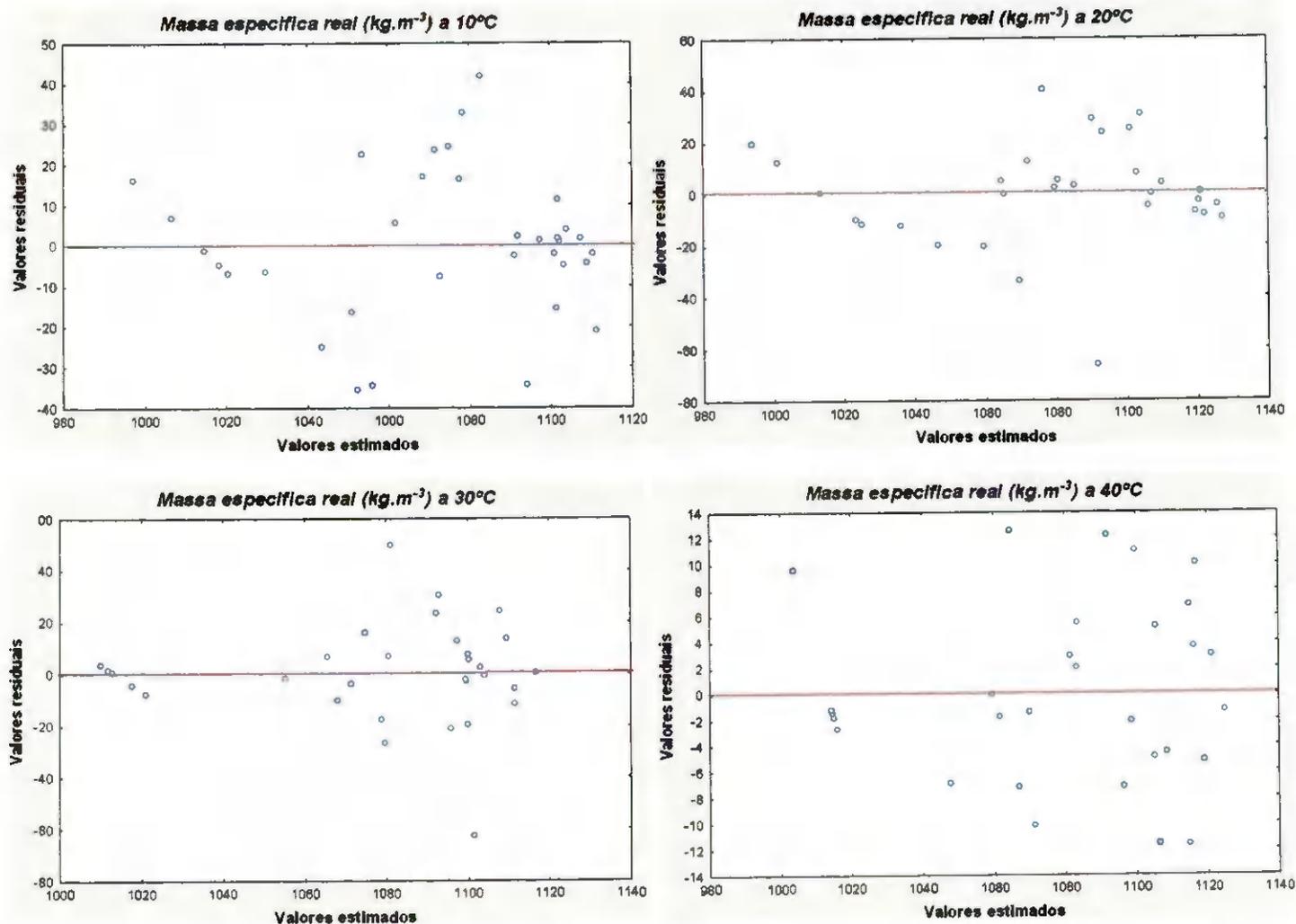


Figura 1A. Distribuição dos resíduos dos modelo matemáticos cúbico utilizados nas isotermas da massa específica real (kg.m⁻³) de sementes de amendoim armazenadas.

Tabela 2A. Massa específica aparente (kg.m^{-3}) das sementes de amendoim armazenadas sob condições controladas.

T °C	UR %	Massa específica aparente (kg.m^{-3})											
		Período de Armazenamento (dias)											
		30		60		90		120		150		180	
		Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%
10	5,4	657,38	0,47	648,44	0,68	669,25	0,14	662,06	1,70	676,76	0,42	658,77	1,09
	33,47	659,67	0,19	647,57	0,31	654,53	1,40	653,75	0,28	670,19	0,90	662,25	1,06
	62,15	650,10	0,69	652,55	0,16	655,64	1,22	652,09	0,88	671,38	0,37	652,28	0,70
	75,67	658,01	0,75	647,96	0,75	644,96	0,50	633,81	0,78	653,65	0,85	642,00	0,24
	86,77	645,11	0,82	643,85	0,36	643,45	0,74	636,81	0,88	644,32	0,22	-	-
20	4,1	655,40	0,83	656,35	0,84	653,98	0,58	650,58	1,65	656,18	0,60	663,60	0,48
	33,07	662,36	1,28	656,03	0,62	659,83	0,40	653,27	0,54	656,98	0,53	668,98	0,81
	59,14	670,51	1,25	651,84	0,66	660,39	0,59	651,93	1,41	662,44	1,03	666,61	0,61
	75,47	661,97	0,58	632,69	0,18	637,28	0,76	636,18	1,53	-	-	-	-
	85,11	632,22	0,66	625,41	1,11	620,82	1,59	621,86	0,21	-	-	-	-
30	10	661,81	0,41	655,96	1,12	663,16	1,66	658,02	0,44	669,48	0,62	653,55	0,81
	32,44	664,58	0,04	662,36	1,19	665,29	1,17	654,78	0,92	671,22	0,97	659,64	0,96
	56,03	667,67	0,61	663,47	0,34	655,40	0,57	659,05	0,52	665,44	0,22	659,72	0,88
	75,09	640,21	1,51	657,22	0,95	645,19	0,59	634,12	0,63	-	-	-	-
	83,62	650,50	0,61	647,73	1,60	641,79	0,97	620,12	0,52	-	-	-	-
40	12,5	653,82	1,34	662,68	2,51	659,52	1,41	655,09	1,18	660,22	0,79	661,38	0,66
	31,6	661,26	0,87	660,07	1,54	652,79	0,82	664,75	0,78	662,83	1,25	663,92	0,76
	53,17	655,96	0,63	661,73	0,50	653,98	1,07	661,98	0,98	658,16	0,13	659,80	0,59
	74,68	656,35	0,47	654,53	0,79	624,30	0,93	646,31	0,52	-	-	-	-
	82,32	628,34	0,75	622,33	0,95	612,91	1,24	-	-	-	-	-	-
	Test.	652,39	1,15	648,68	0,91	643,61	0,53	606,75	1,37	609,66	0,23	606,07	0,37

T – Temperatura, °C; UR – Umidade relativa, %; Test. – Testemunha. Valor inicial da massa específica aparente = $616,13 \text{ kg.m}^{-3}$.

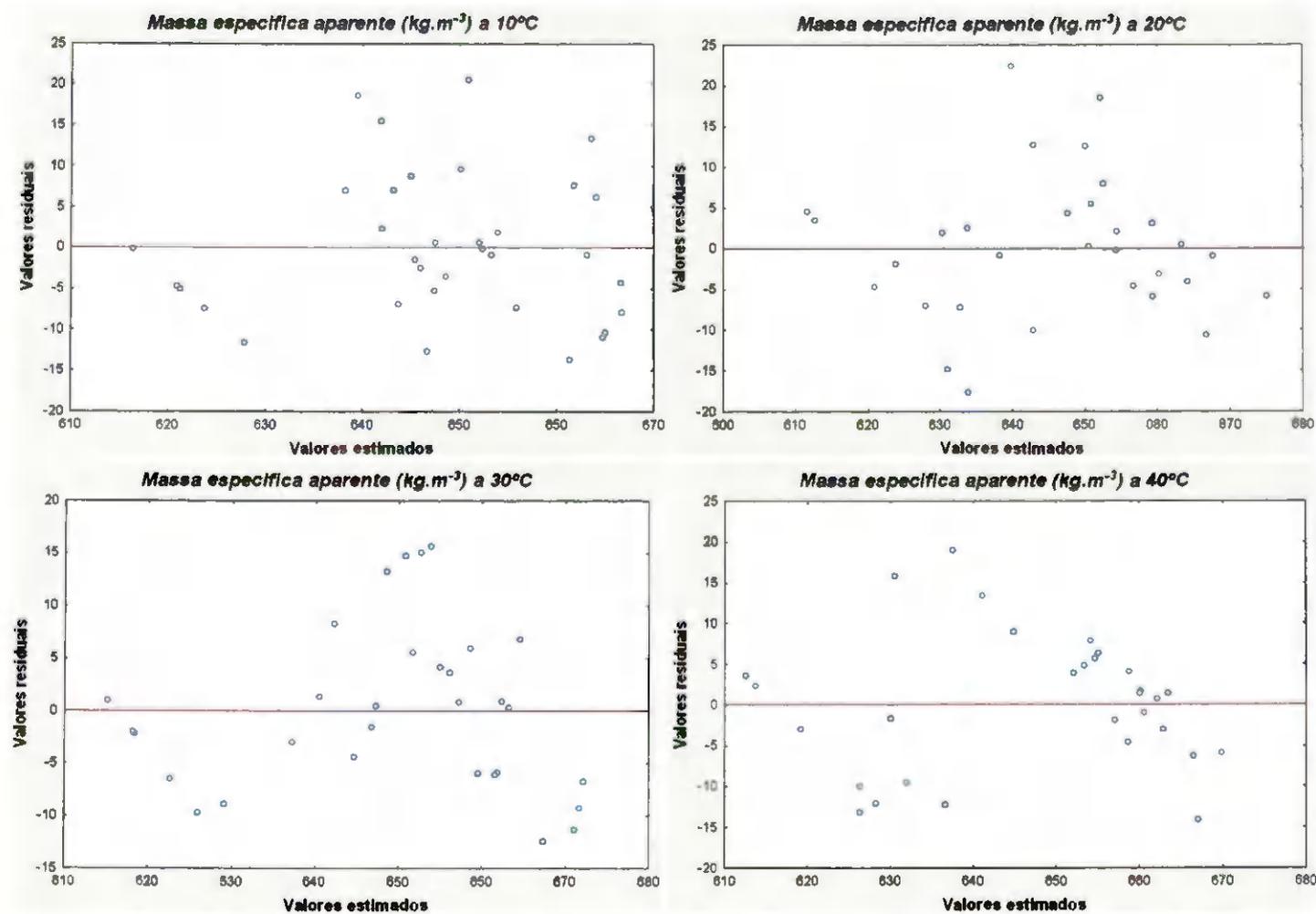


Figura 2A. Distribuição dos resíduos dos modelo matemáticos cúbico utilizados nas isotermas da massa específica aparente (kg.m⁻³) de sementes de amendoim armazenadas.

Tabela 3A. Porosidade (%) das sementes de amendoim armazenadas sob condições controladas.

		Porosidade (%)											
		Período de Armazenamento (dias)											
T °C	UR %	30		60		90		120		150		180	
		Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%
10	5,4	35,77	6,35	39,70	3,03	38,32	2,42	39,75	3,45	36,44	1,49	38,25	2,33
	33,47	36,33	2,84	40,78	2,26	38,13	8,17	40,71	0,43	38,25	1,22	39,44	3,05
	62,15	36,74	4,02	41,94	2,72	40,31	1,85	41,14	2,17	38,39	1,62	40,58	1,62
	75,67	34,32	10,31	41,67	1,78	41,26	1,62	42,84	1,26	40,80	1,18	42,30	1,04
	86,77	36,98	2,35	41,19	0,47	40,86	1,51	42,26	2,30	41,82	0,53	-	-
20	4,1	37,47	9,20	38,61	1,18	39,74	2,34	40,20	1,96	39,32	2,36	37,67	2,04
	33,07	36,28	6,18	41,71	1,73	40,66	1,06	41,71	0,63	41,38	1,33	39,23	1,12
	59,14	36,97	19,72	42,54	1,71	40,68	1,34	41,64	1,92	40,68	1,11	39,96	1,06
	75,47	35,62	8,23	43,46	0,50	42,39	1,99	42,87	2,67	-	-	-	-
	85,11	37,60	2,93	43,98	1,70	43,40	1,78	44,28	1,40	-	-	-	-
30	10	37,04	9,34	39,85	1,73	36,99	3,22	37,98	1,12	40,77	4,21	39,17	1,29
	32,44	35,33	4,75	40,61	1,31	39,33	2,09	40,31	0,64	39,29	2,29	40,32	2,20
	56,03	35,25	5,17	40,91	2,30	40,94	0,96	40,47	0,17	40,06	1,46	40,31	2,22
	75,09	42,74	8,68	40,77	4,19	43,00	1,66	42,51	1,61	-	-	-	-
	83,62	39,42	6,79	42,31	2,29	42,53	1,35	43,61	0,88	-	-	-	-
40	12,5	36,35	5,21	37,47	3,89	38,28	1,65	39,19	2,35	37,67	1,23	37,61	1,79
	31,6	36,48	2,54	40,58	3,20	40,87	1,05	40,14	1,57	39,56	1,91	39,04	2,05
	53,17	38,03	6,06	41,01	1,42	41,79	1,34	40,56	0,82	40,18	2,32	40,25	0,99
	74,68	39,34	3,22	41,54	1,81	44,46	1,84	40,96	2,68	-	-	-	-
	82,32	41,83	1,09	43,58	1,25	45,60	2,00	-	-	-	-	-	-
Test.		37,95	6,27	41,85	2,94	41,92	0,99	44,94	1,10	45,24	1,05	45,32	1,17

T – Temperatura, °C; UR – Umidade relativa, %; Test. – Testemunha. Valor inicial da porosidade = 39,19%.

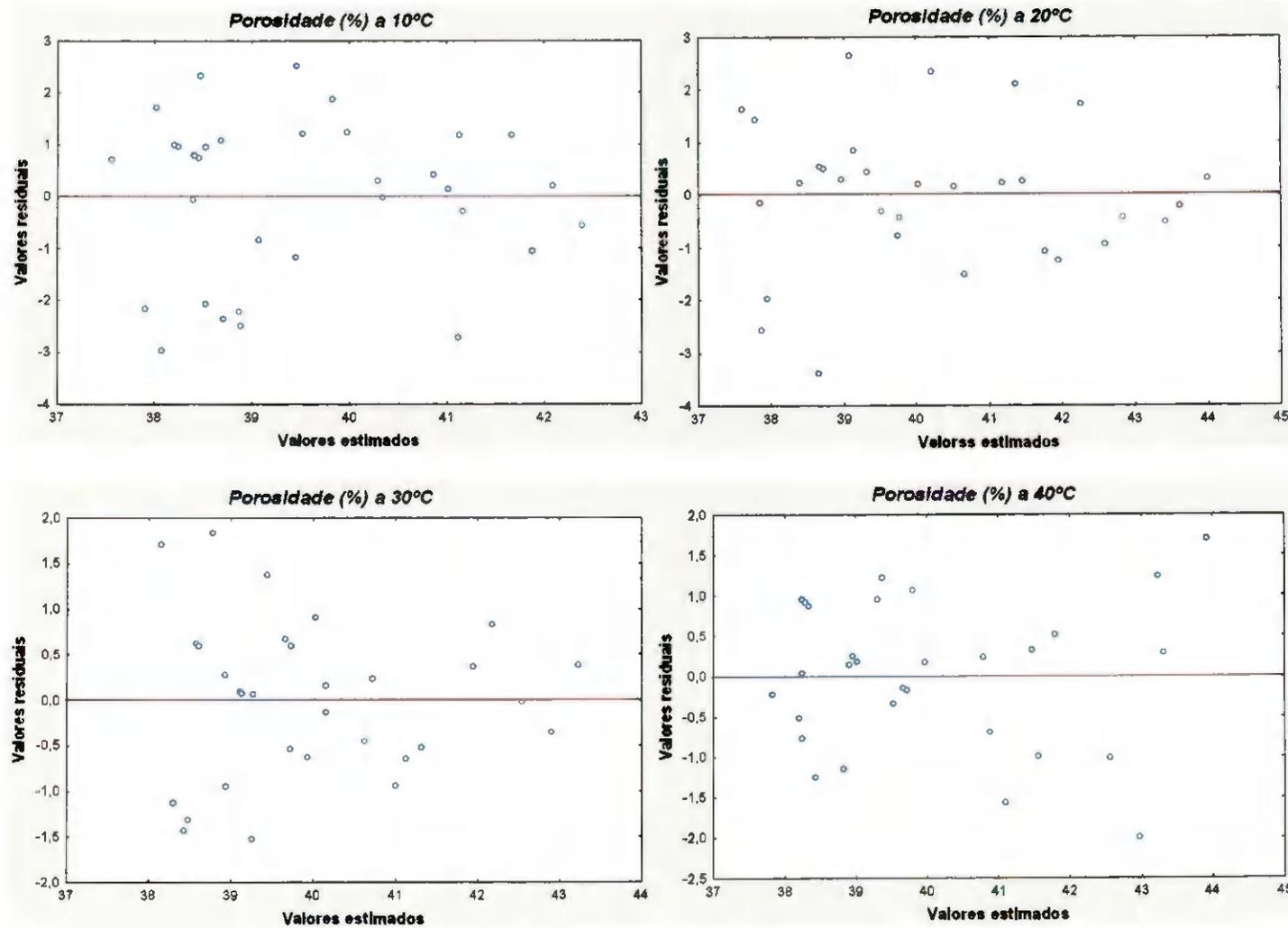


Figura 3A. Distribuição dos resíduos dos modelo matemático eúbico utilizados nas isotermas da porosidade (%) de sementes de amendoim armazenadas.

Tabela 4A. Circularidade (%) das sementes de amendoim armazenadas sob condições controladas.

		Circularidade (%)											
		Período de Armazenamento (dias)											
T °C	UR %	30		60		90		120		150		180	
		Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%
10	5,4	60,53	1,24	60,38	2,54	63,27	2,54	58,50	4,50	61,58	0,96	62,96	3,04
	33,47	57,11	1,11	58,87	4,05	61,29	2,92	60,30	7,01	63,24	2,11	61,98	2,22
	62,15	56,36	6,55	61,89	3,12	60,01	6,35	56,97	6,25	62,10	6,08	62,22	4,34
	75,67	56,67	7,39	62,54	2,59	62,11	4,03	63,54	3,52	59,47	6,04	58,98	1,35
	86,77	57,55	9,56	61,88	4,67	63,02	0,36	59,71	2,67	58,58	0,83	-	-
20	4,1	63,44	1,24	57,32	3,28	64,45	4,54	65,39	5,57	61,50	1,48	61,41	2,61
	33,07	60,61	7,41	60,67	4,47	63,46	4,12	64,06	5,82	62,57	2,67	60,30	4,01
	59,14	57,32	3,33	62,10	6,69	61,03	3,45	63,17	3,11	60,93	4,53	57,94	3,89
	75,47	58,40	5,05	62,86	5,92	58,62	4,39	57,94	4,49	-	-	-	-
	85,11	59,29	3,48	62,70	8,39	61,66	1,31	56,95	1,52	-	-	-	-
30	10	58,18	3,63	60,30	2,78	60,12	2,09	60,41	5,10	59,26	2,13	62,42	1,65
	32,44	55,90	2,22	62,13	5,70	62,03	3,05	60,96	4,53	59,60	3,36	63,82	4,58
	56,03	57,00	7,32	64,44	5,59	62,74	5,30	62,01	5,28	59,68	2,96	57,06	4,24
	75,09	58,92	4,21	61,25	6,20	61,17	4,33	-	-	-	-	-	-
	83,62	58,60	7,03	61,75	2,17	61,95	6,63	-	-	-	-	-	-
40	12,5	57,66	8,50	61,56	3,97	65,31	3,38	61,90	2,07	59,34	9,56	58,22	12,76
	31,6	58,63	6,10	65,31	3,96	58,62	2,66	63,11	4,08	61,78	1,70	60,93	1,55
	53,17	60,00	6,36	61,75	3,42	60,21	5,68	61,86	0,95	59,40	1,26	58,12	1,07
	74,68	57,67	2,56	60,81	2,61	58,51	2,38	-	-	-	-	-	-
	82,32	57,60	5,09	64,71	11,03	-	-	-	-	-	-	-	-
Test.		62,16	6,23	63,28	8,68	62,71	0,91	60,94	9,60	59,78	2,63	63,12	3,43

T – Temperatura, °C; UR – Umidade relativa, %; Test. – Testemunha. Valor inicial da circularidade = 64,42%

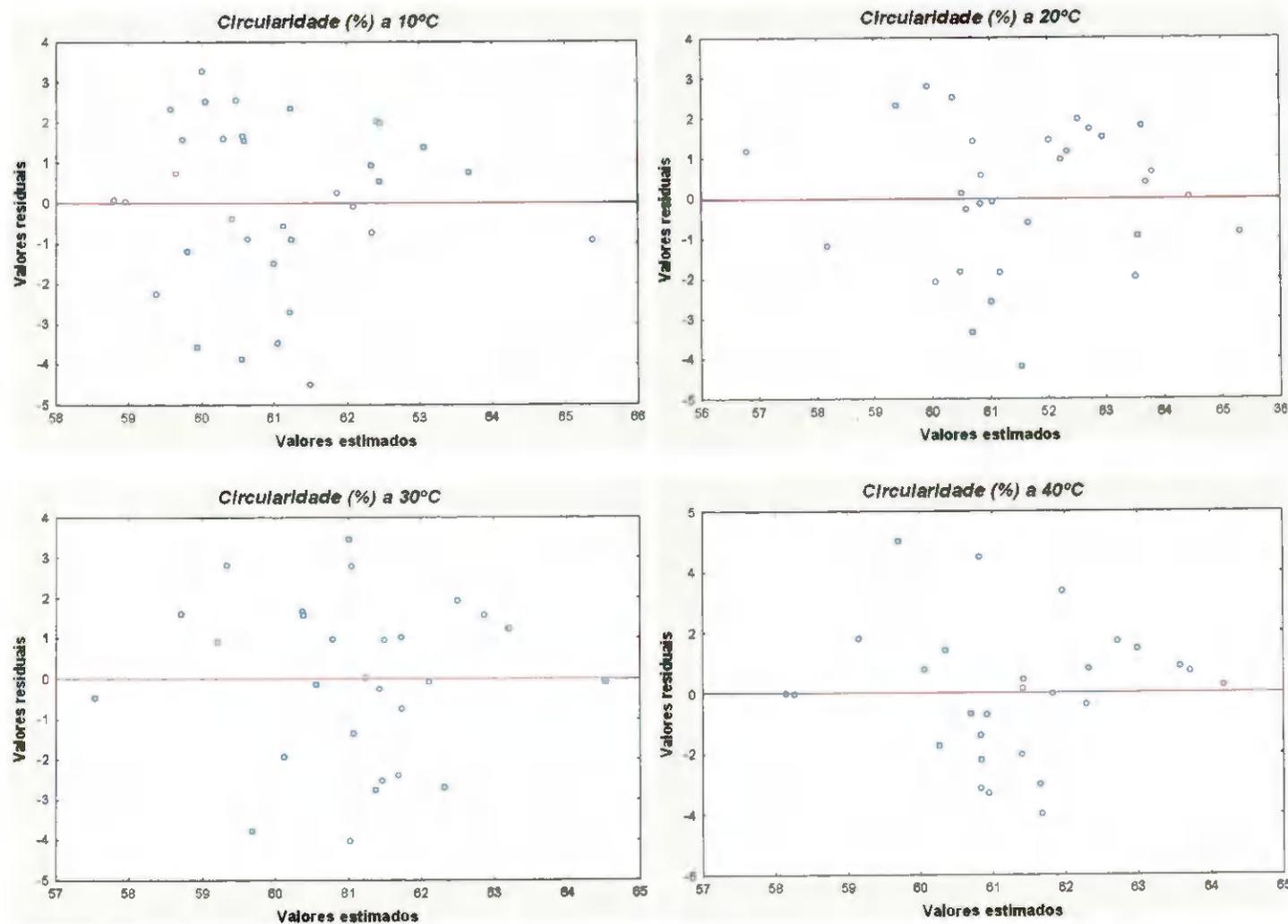


Figura 4A. Distribuição dos resíduos dos modelo matemáticos cúbico utilizados nas isotermas da circularidade (%) de sementes de amendoim armazenadas.

Tabela 5A. Esfericidade (%) das sementes de amendoim armazenadas sob condições controladas.

		Esfericidade (%)											
		Período de Armazenamento (dias)											
T °C	UR %	30		60		90		120		150		180	
		Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%
10	5,4	61,09	3,08	61,43	1,07	64,86	4,45	60,56	5,00	62,30	1,58	64,72	3,22
	33,47	58,08	1,96	60,44	3,55	63,40	2,32	62,15	5,87	64,94	2,14	62,82	1,88
	62,15	58,81	6,22	63,30	1,31	62,28	6,34	59,13	4,03	63,12	4,69	62,66	1,06
	75,67	58,03	8,81	64,63	3,77	66,16	9,88	65,49	2,98	61,98	5,28	61,55	3,76
	86,77	58,46	7,95	64,37	4,58	65,19	2,24	61,15	3,55	60,69	1,81	-	-
20	4,1	67,34	5,16	59,55	3,03	66,03	3,43	66,39	3,07	63,42	1,10	62,79	2,67
	33,07	61,38	7,39	62,65	6,15	65,00	3,52	66,64	4,04	65,46	2,64	62,37	4,40
	59,14	60,67	4,60	64,74	6,41	63,33	5,12	63,86	2,10	61,85	3,34	59,33	4,14
	75,47	58,86	7,06	65,53	6,15	61,73	2,73	59,13	3,94	-	-	-	-
	85,11	61,63	4,62	65,20	6,92	63,08	1,06	59,14	2,12	-	-	-	-
30	10	60,35	4,08	62,08	0,21	61,47	1,72	62,43	2,94	62,32	3,14	64,82	3,74
	32,44	57,78	2,13	63,45	3,14	64,31	2,75	62,63	1,99	62,37	3,77	66,10	4,57
	56,03	57,91	6,64	66,48	3,27	62,62	4,22	63,94	4,39	63,00	0,69	58,58	3,23
	75,09	60,05	3,13	65,09	5,55	62,64	3,62	-	-	-	-	-	-
	83,62	59,13	6,36	62,78	3,13	62,28	5,65	-	-	-	-	-	-
40	12,5	58,96	5,67	63,57	4,60	67,27	5,65	62,37	2,44	65,86	3,21	64,01	2,84
	31,6	60,73	4,93	67,86	5,34	60,42	5,06	65,20	3,43	63,65	0,78	62,85	2,54
	53,17	60,73	5,91	63,25	2,79	61,15	2,49	63,43	1,51	63,48	1,19	60,56	2,88
	74,68	59,88	2,21	63,74	2,47	60,46	0,94	-	-	-	-	-	-
	82,32	58,58	3,43	66,43	8,03	-	-	-	-	-	-	-	-
Test,		63,86	5,08	65,24	8,31	63,80	1,43	62,61	7,47	61,34	2,44	66,00	0,91

T – Temperatura, °C; UR – Umidade relativa, %; Test. – Testemunha. Valor inicial = 66,93%

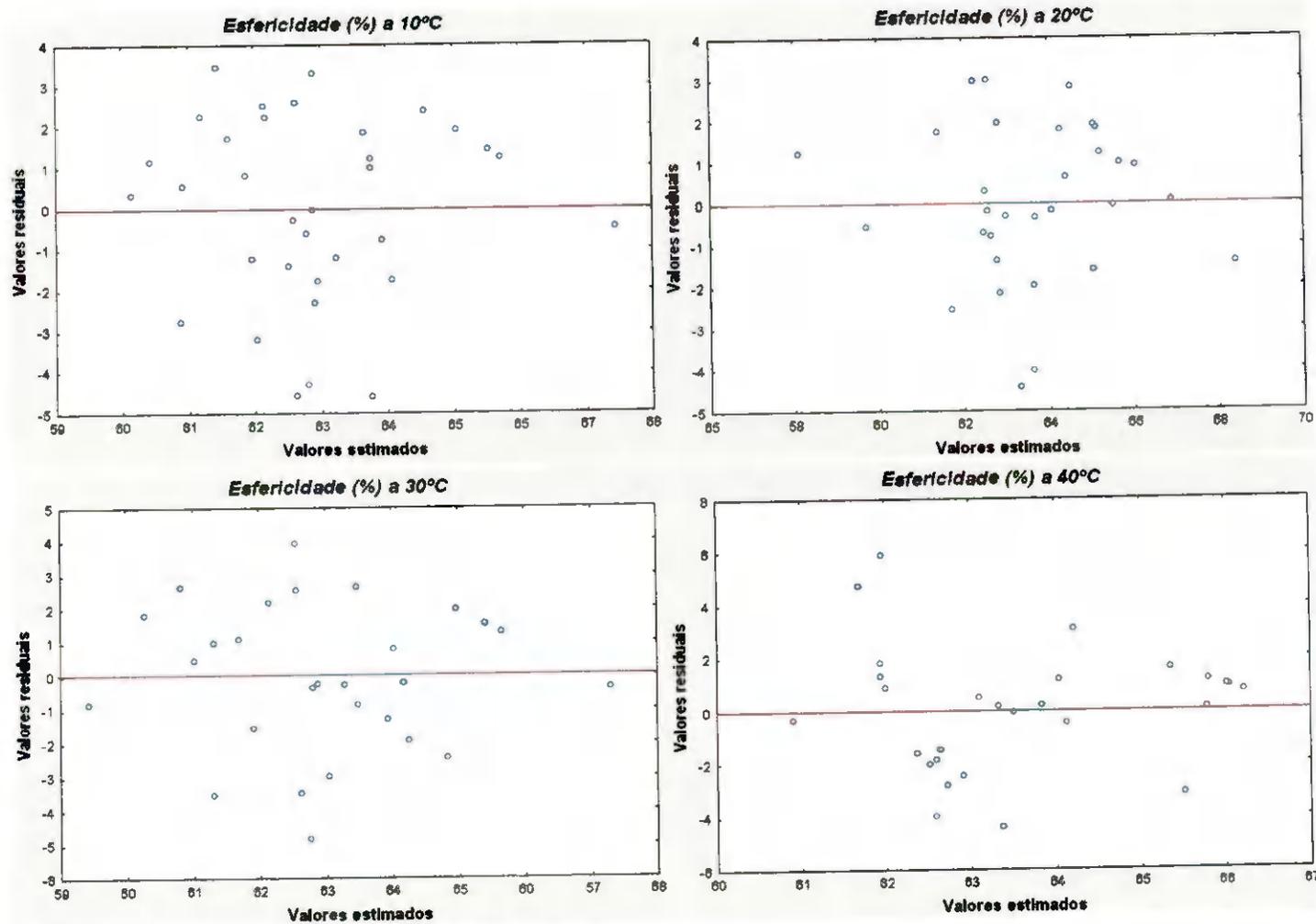


Figura 5A. Distribuição dos resíduos dos modelo matemáticos cúbico utilizados nas isotermas da esfericidade (%) de sementes de amendoim armazenadas.

Tabela 6A. Volume (%) das sementes de amendoim armazenadas sob condições controladas.

T °C	UR%	Volume (mm ³)											
		Período de Armazenamento (dias)											
		30		60		90		120		150		180	
		Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%
10	5,4	585,61	5,18	501,23	4,27	495,29	3,95	550,02	9,80	441,05	8,92	417,47	3,57
	33,47	538,66	3,60	513,94	5,05	531,15	2,75	566,28	7,57	457,07	1,69	459,49	6,23
	62,15	554,75	3,83	495,94	7,83	551,59	5,09	627,32	6,45	458,55	2,46	475,54	2,52
	75,67	585,38	4,03	518,11	1,92	594,66	4,98	541,64	5,99	452,78	3,59	460,81	2,13
	86,77	547,28	6,29	541,13	2,31	572,12	3,83	619,15	7,48	539,87	4,78	-	-
20	4,1	538,08	9,10	510,64	10,31	545,34	9,54	531,66	6,13	468,02	10,57	446,93	7,86
	33,07	590,21	2,86	548,20	10,90	565,16	2,55	514,46	10,81	503,74	9,01	444,89	3,60
	59,14	553,24	1,03	542,22	2,68	537,18	5,39	544,92	4,38	507,59	8,53	464,38	5,47
	75,47	563,07	2,71	506,99	3,69	557,81	2,34	559,40	6,11	-	-	-	-
	85,11	595,04	1,89	615,52	4,95	561,21	6,21	657,73	5,95	-	-	-	-
30	10	549,30	6,35	503,63	5,92	551,95	3,98	514,01	5,44	459,83	0,72	448,61	12,55
	32,44	602,68	10,76	493,76	7,40	530,08	6,89	511,72	8,17	509,52	3,96	470,16	2,53
	56,03	545,08	9,06	484,22	0,80	539,74	2,29	531,80	1,72	518,82	2,88	477,91	7,88
	75,09	580,37	6,30	507,05	9,22	539,74	2,29	-	-	-	-	-	-
	83,62	626,34	6,82	497,29	4,02	603,72	5,81	-	-	-	-	-	-
40	12,5	581,79	4,94	495,64	1,80	532,22	8,01	478,47	6,94	522,49	3,88	463,43	2,15
	31,6	574,13	1,42	483,41	11,99	508,71	11,88	536,19	11,52	456,60	7,93	482,33	1,62
	53,17	583,91	6,19	487,01	4,81	510,16	4,13	499,23	1,95	509,29	14,09	496,12	2,96
	74,68	576,07	16,36	523,45	1,22	552,67	10,04	-	-	-	-	-	-
	82,32	560,22	10,50	616,99	5,81	-	-	-	-	-	-	-	-
Test.		555,46	6,90	520,38	3,57	541,38	6,19	582,76	1,34	476,61	9,02	489,66	3,43

T – Temperatura, °C; UR – Umidade relativa, %; Test. – Testemunha. Valor inicial do volume = 488,40mm³.

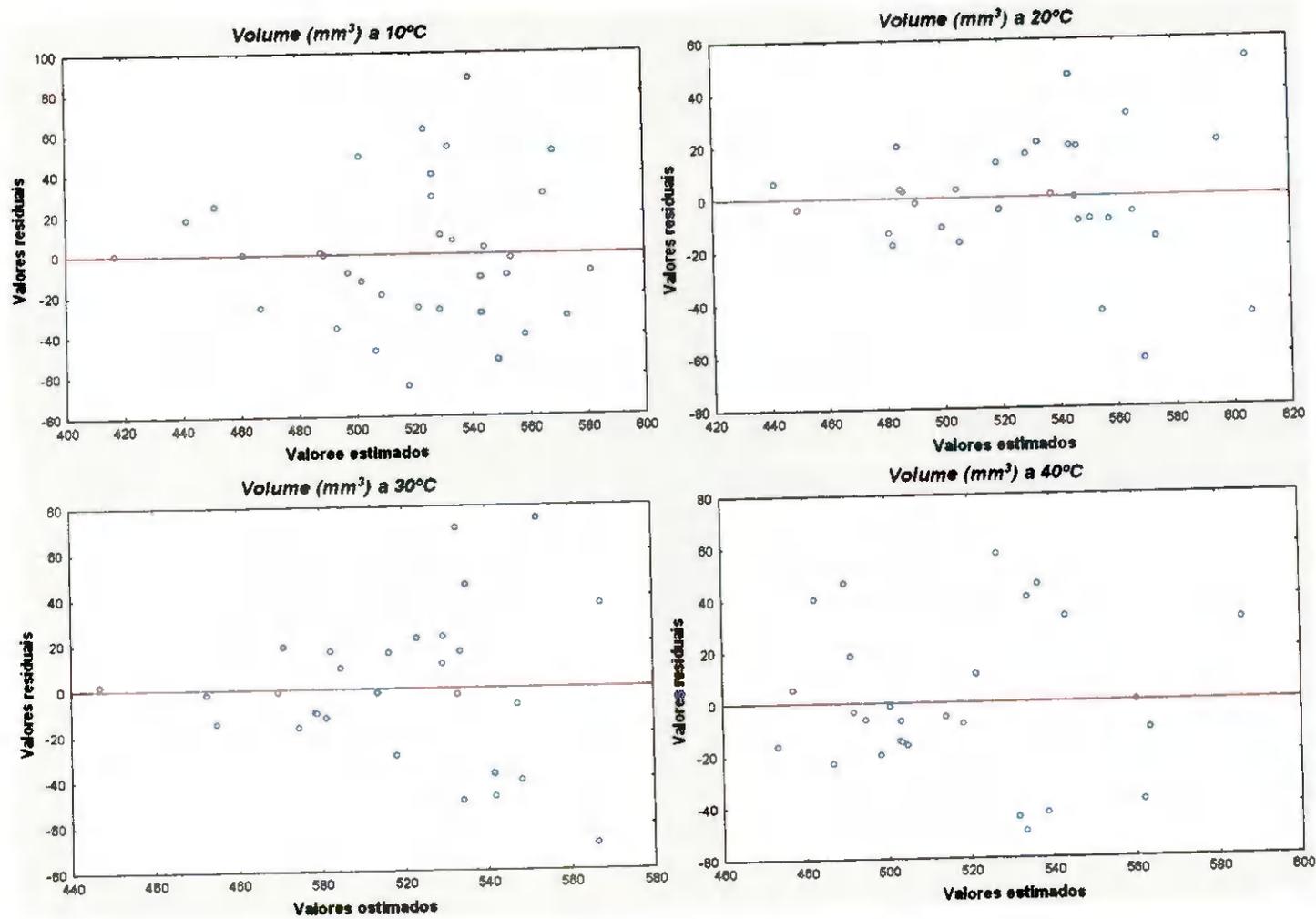


Figura 6A. Distribuição dos resíduos dos modelo matemáticos cúbico utilizados nas isotermas do volume (mm^3) de sementes de amendoim armazenadas.

Tabela 7A. Área projetada (mm²) das sementes de amendoim armazenadas sob condições controladas.

T °C	UR%	Área projetada (mm ²)											
		Período de Armazenamento (dias)											
		30		60		90		120		150		180	
		Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%
10	5,4	103,38	0,45	93,27	4,27	90,88	3,07	96,78	4,16	85,30	8,57	81,97	3,58
	33,47	95,08	2,33	93,77	5,05	96,57	3,16	98,56	5,36	88,65	1,83	88,17	4,00
	62,15	99,98	4,12	91,65	7,83	97,73	5,23	105,66	6,26	88,43	5,19	91,76	1,14
	75,67	106,23	2,33	90,21	1,92	98,22	4,80	93,36	7,30	86,78	1,22	88,28	5,52
	86,77	97,38	1,90	96,78	2,31	98,89	4,20	106,36	6,14	98,41	1,89	-	-
20	4,1	96,16	9,13	93,56	10,31	97,59	6,96	99,19	3,89	89,44	9,50	85,12	5,14
	33,07	104,96	5,49	94,68	10,90	101,88	1,50	94,30	4,92	93,35	6,27	87,04	2,11
	59,14	95,66	1,59	98,61	2,68	96,14	5,98	98,81	4,45	97,17	6,15	89,12	1,64
	75,47	103,16	1,82	93,65	3,69	98,66	1,23	99,94	3,45	-	-	-	-
	85,11	104,21	2,93	103,82	4,95	102,84	6,96	111,48	4,76	-	-	-	-
30	10	98,23	3,44	91,78	5,92	101,58	3,23	92,72	3,67	85,79	0,29	84,97	8,28
	32,44	105,99	3,86	92,33	7,40	96,77	2,32	94,55	0,71	95,25	3,51	87,92	2,24
	56,03	99,52	8,49	87,21	0,80	102,44	1,90	95,55	4,33	92,56	1,25	89,50	5,02
	75,09	106,88	3,03	89,52	9,22	102,37	3,57	-	-	-	-	-	-
	83,62	107,99	5,50	95,14	4,02	111,33	3,16	-	-	-	-	-	-
40	12,5	105,08	2,87	89,56	1,80	98,89	0,97	92,92	4,38	89,98	12,83	86,25	1,85
	31,6	104,68	4,46	87,48	11,99	94,41	5,41	94,80	7,46	87,06	3,78	90,53	2,78
	53,17	102,78	0,85	89,88	4,81	96,41	2,81	91,76	2,00	90,69	5,23	89,56	4,57
	74,68	103,06	9,28	94,95	1,22	100,37	5,45	-	-	-	-	-	-
	82,32	101,91	4,41	106,44	5,81	-	-	-	-	-	-	-	-
Test.		94,94	3,96	95,75	3,57	95,48	2,90	101,75	2,41	90,24	5,75	88,67	2,05

T – Temperatura, °C; UR – Umidade relativa, %; Test. – Testemunha. Valor inicial da área projetada = 86,24mm².

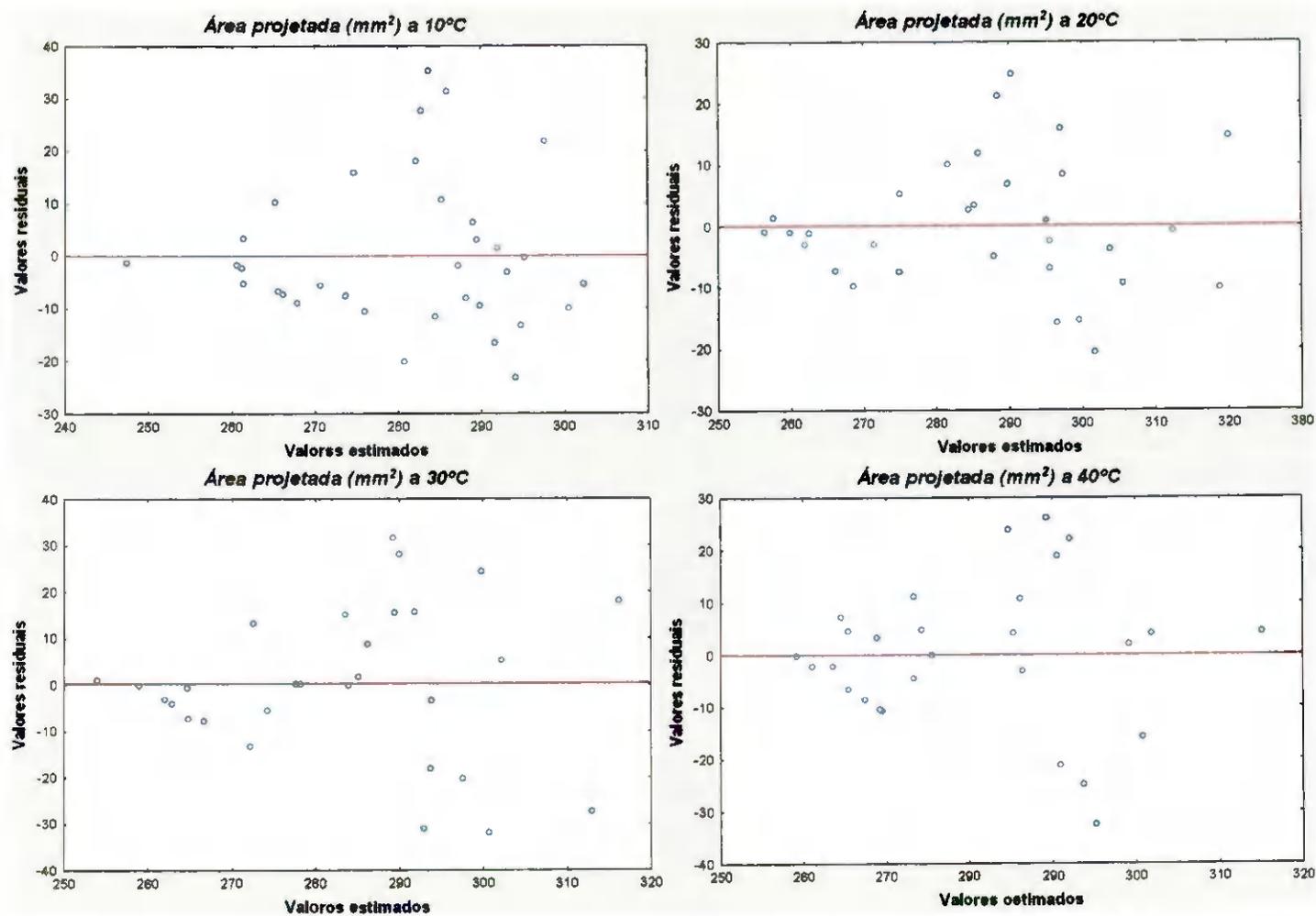


Figura 7A. Distribuição dos resíduos dos modelo matemáticos cúbico utilizados nas isotermas da área projetada (mm²) de sementes de amendoim armazenada.

Tabela 8A. Massa de mil sementes (g) das sementes de amendoim armazenadas sob condições controladas.

		Massa de mil sementes (g)											
		Período de Armazenamento (dias)											
T °C	UR%	30		60		90		120		150		180	
		Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%
10	5,4	432,40	2,19	454,46	2,26	421,52	2,17	428,10	3,82	422,51	3,17	451,77	2,83
	33,47	447,99	1,45	497,32	8,91	490,33	4,30	467,42	0,50	460,65	0,78	482,66	7,43
	62,15	461,59	1,71	468,62	1,95	464,47	3,93	470,90	0,58	474,78	2,45	488,18	3,86
	75,67	444,49	1,73	463,12	1,39	473,36	2,70	476,89	1,10	486,87	2,68	493,46	3,81
	86,77	458,88	1,34	475,73	4,37	458,81	2,79	485,86	6,90	542,30	0,74	-	-
20	4,1	422,06	0,62	435,62	2,71	424,45	1,95	443,68	9,31	457,56	1,96	447,41	3,39
	33,07	461,02	0,29	481,32	2,45	450,63	1,45	478,43	4,64	484,05	4,01	488,01	1,75
	59,14	451,35	1,16	467,73	1,48	449,70	2,55	483,26	2,81	514,01	4,86	465,64	0,76
	75,47	459,39	0,21	475,68	2,81	465,05	5,40	498,17	1,59	-	-	-	-
	85,11	504,04	1,27	534,43	5,10	502,35	1,43	552,75	3,56	-	-	-	-
30	10	421,60	3,03	442,67	1,54	442,24	1,14	458,70	2,15	420,61	3,34	477,21	3,46
	32,44	468,41	1,88	461,02	2,05	438,99	7,27	455,65	3,50	434,05	6,13	461,44	3,92
	56,03	450,30	3,58	440,25	3,49	439,56	2,94	475,01	2,11	448,37	2,72	469,85	4,13
	75,09	452,07	2,64	484,88	6,18	462,32	1,90	480,59	0,93	-	-	-	-
	83,62	500,88	2,78	547,03	1,08	523,64	9,45	512,05	3,26	-	-	-	-
40	12,5	447,69	1,48	475,27	3,78	457,98	0,68	467,66	1,69	439,68	4,43	464,06	2,38
	31,6	451,69	0,88	459,24	4,67	455,45	0,73	463,82	2,42	439,37	3,46	465,35	3,27
	53,17	438,22	1,99	462,64	0,83	442,28	1,98	475,86	4,51	435,12	3,21	463,15	0,58
	74,68	468,65	1,99	522,47	1,48	464,41	1,64	478,97	1,95	-	-	-	-
	82,32	513,03	1,37	564,20	2,86	504,97	2,02	-	-	-	-	-	-
Test		478,70	0,73	495,51	1,47	486,79	1,52	483,60	7,15	472,92	2,17	486,84	3,69

T – Temperatura, °C; UR – Umidade relativa, %; Test. – Testemunha. Valor inicial da massa de mil sementes = 459,70g.

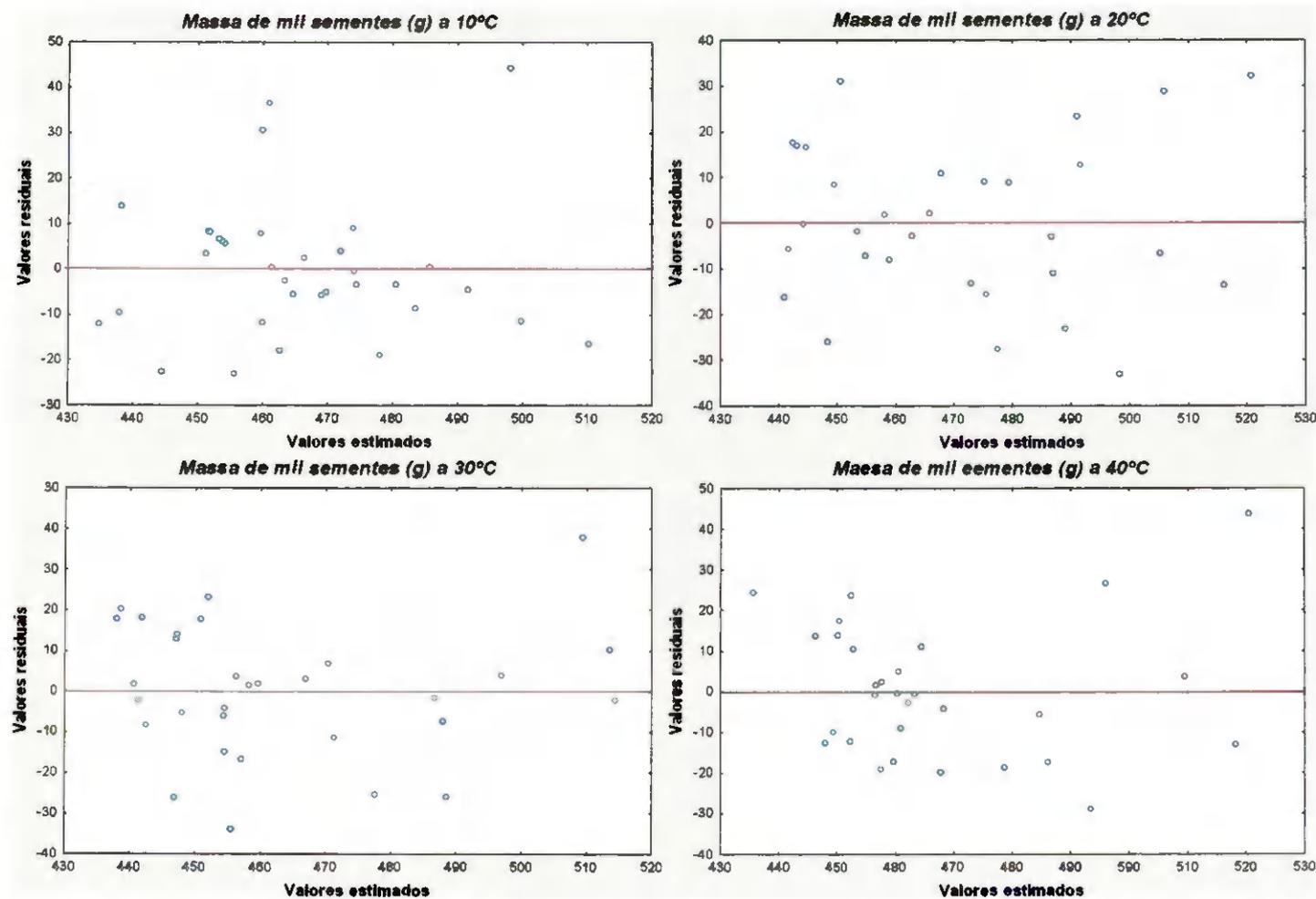


Figura 8A. Distribuição dos resíduos dos modelo matemáticos cúbico utilizados nas isotermas da massa de mil sementes (g) de sementes de amendoim armazenadas.

Tabela 9A. Massa das sementes (g) de amendoim armazenadas sob condições controladas.

T °C	UR%	Peso unitário (g)											
		Período de Armazenamento (dias)											
		30		60		90		120		150		180	
		Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%	Média	C.V.%
10	5,4	0,4076	7,64	0,5449	7,15	0,5053	2,20	0,5743	3,71	0,5160	10,65	0,4669	5,42
	33,47	0,5089	10,69	0,5609	8,83	0,5730	3,09	0,5915	4,20	0,5235	1,43	0,5244	2,94
	62,15	0,4813	5,23	0,5391	7,96	0,5439	6,79	0,6694	6,94	0,5214	6,75	0,5470	0,94
	75,67	0,4629	9,68	0,5331	2,78	0,5800	3,68	0,5724	5,25	0,5014	2,56	0,5317	6,23
	86,77	0,4879	6,96	0,5939	2,40	0,5953	6,74	0,6580	5,63	0,6491	4,76	-	-
20	4,1	0,4312	5,49	0,5450	8,05	0,5311	11,55	0,5229	9,57	0,5081	8,19	0,4990	3,39
	33,07	0,4722	2,59	0,5744	8,27	0,5740	2,26	0,5051	11,75	0,5829	9,21	0,5126	1,75
	59,14	0,4787	7,25	0,5846	5,05	0,5506	5,75	0,5396	4,18	0,5819	6,89	0,5488	0,76
	75,47	0,4771	13,05	0,5568	7,95	0,5675	1,86	0,5659	9,58	-	-	-	-
	85,11	0,4987	0,66	0,6793	5,03	0,6122	8,22	0,6449	4,08	-	-	-	-
30	10	0,4039	6,45	0,5198	4,76	0,5776	2,87	0,5014	7,72	0,5052	3,14	0,5041	3,46
	32,44	0,4758	4,36	0,5358	8,61	0,5442	1,64	0,5183	7,46	0,5763	2,69	0,5196	3,92
	56,03	0,4472	7,44	0,4989	1,86	0,5927	5,12	0,5559	3,57	0,5783	6,57	0,5680	4,13
	75,09	0,5090	8,36	0,5104	7,90	0,5977	5,87	-	-	-	-	-	-
	83,62	0,5538	3,38	0,5441	4,28	0,6554	6,13	-	-	-	-	-	-
40	12,5	0,4661	1,92	0,5259	5,29	0,5394	6,55	0,4874	7,54	0,5506	6,50	0,5038	2,38
	31,6	0,4409	6,13	0,5247	11,99	0,5125	10,54	0,5587	10,50	0,4910	7,17	0,5487	3,27
	53,17	0,4720	8,64	0,5436	8,37	0,5356	3,52	0,5207	6,81	0,5493	5,15	0,5652	0,58
	74,68	0,4955	4,14	0,5694	2,85	0,5790	3,56	-	-	-	-	-	-
	82,32	0,5557	9,17	0,7044	6,10	-	-	-	-	-	-	-	-
Test.		0,5294	5,65	0,5993	4,42	0,5890	1,33	0,6447	2,24	0,5260	11,23	0,55	3,69

T – Temperatura, °C; UR – Umidade relativa, %; Test. – Testemunha. Valor inicial do peso unitário = 0,5493g.

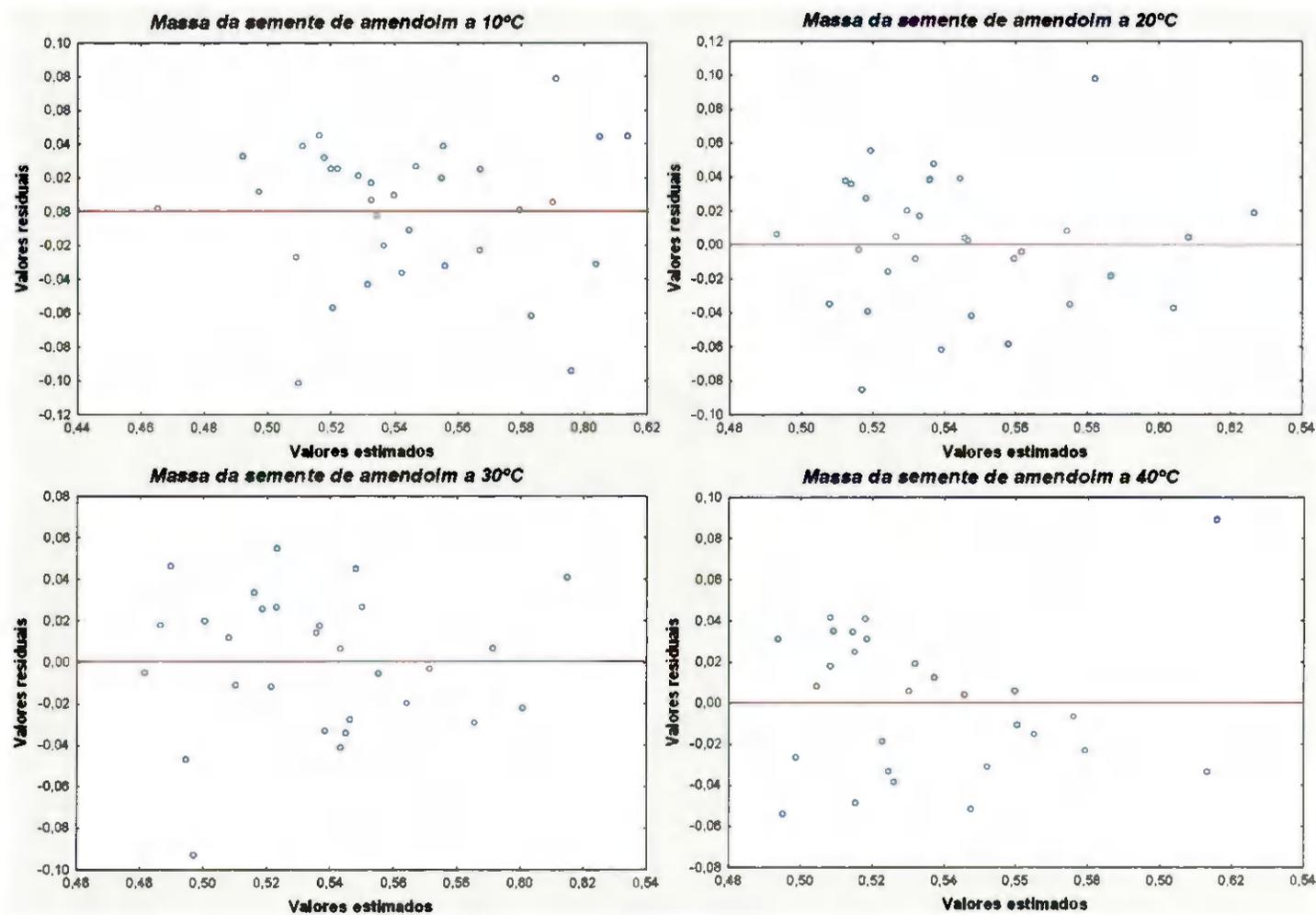


Figura 9A. Distribuição dos resíduos dos modelo matemáticos cúbico utilizados nas isotermas da massa da sementes (g) de amendoim armazenadas.

Apêndice
Capítulo II

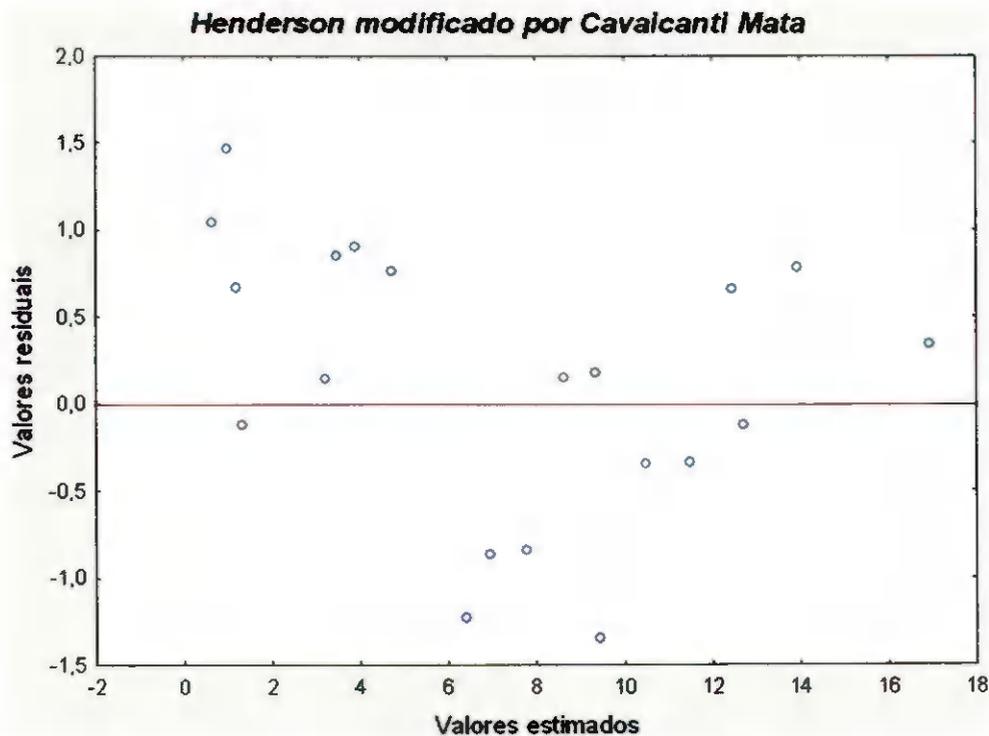


Figura 1B. Distribuição dos resíduos do modelo de Cavalcanti Mata, utilizado para descrever a isoterma de equilíbrio de sementes de arandoim.

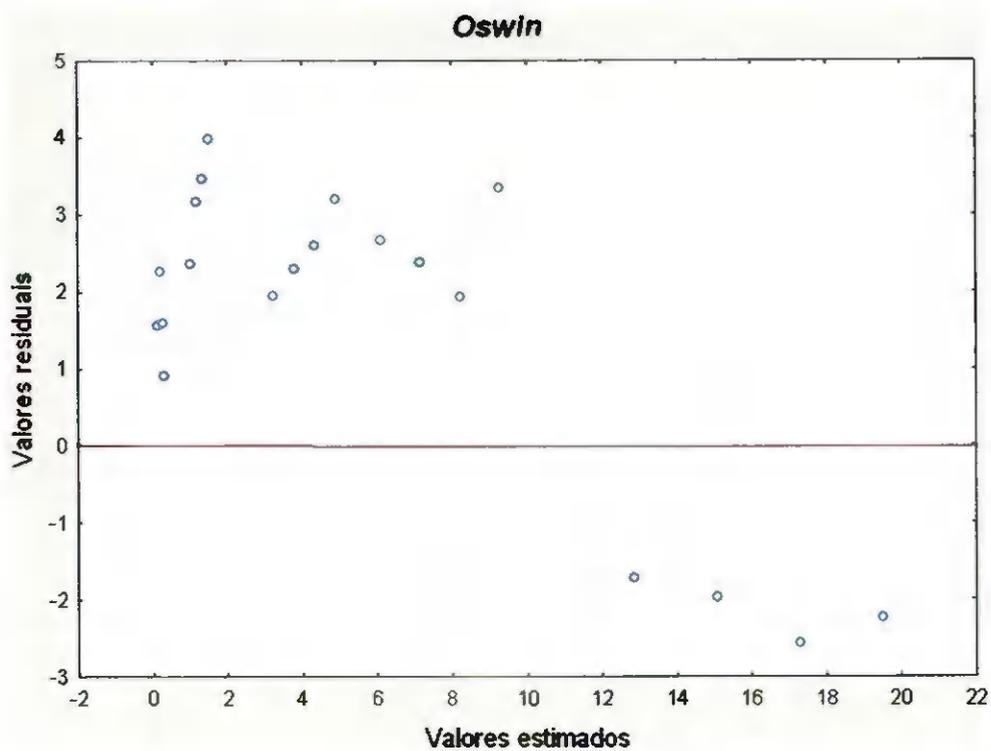


Figura 2B. Distribuição dos resíduos do modelo de Oswin, utilizado para descrever a isoterma de equilíbrio de sementes de amendoim.

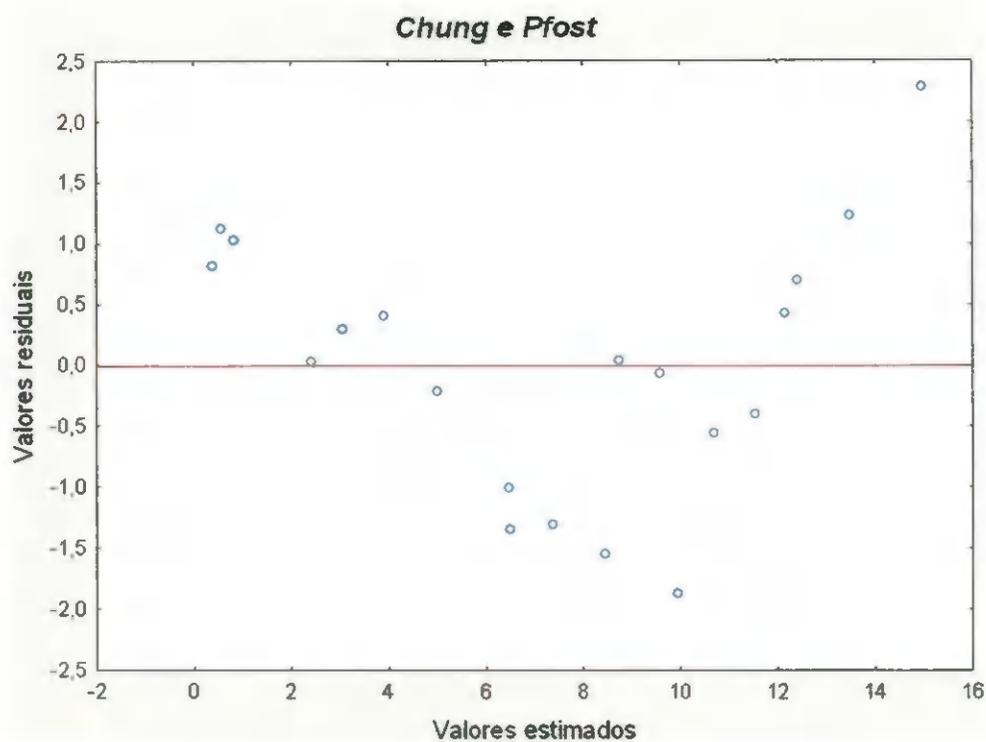


Figura 3B. Distribuição dos resíduos do modelo de Chung e Pfof, utilizado para descrever a isoterma de equilíbrio de sementes de amendoim.

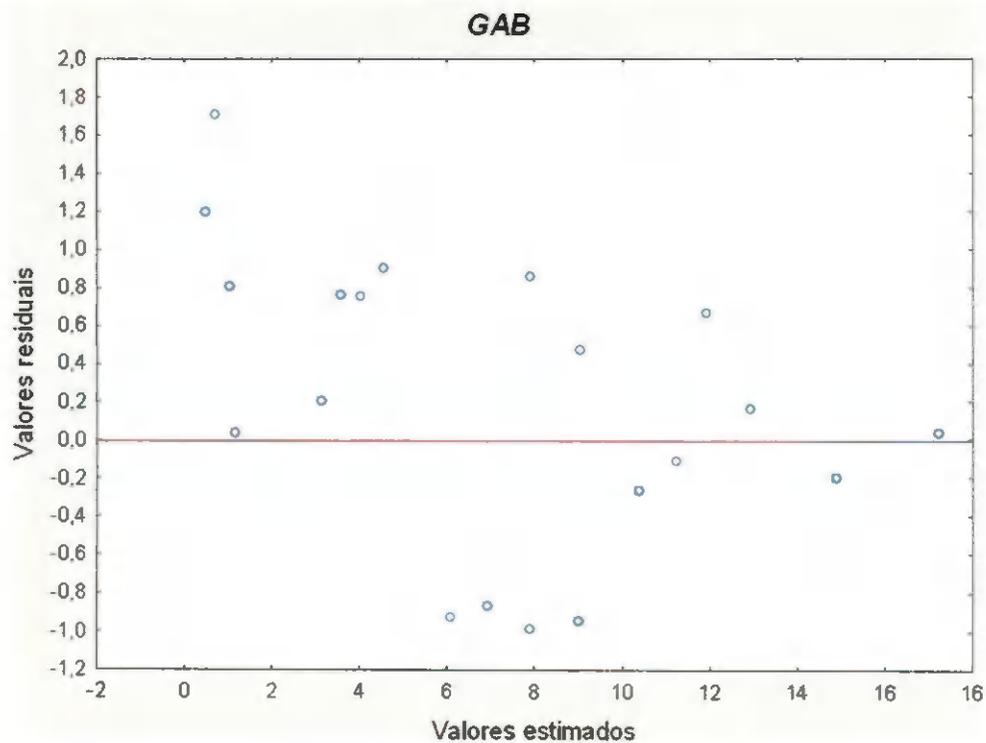


Figura 4B. Distribuição dos resíduos do modelo de GAB, utilizado para descrever a isoterma de equilíbrio de sementes de amendoim.

Apêndice
Capítulo III

Tabela III. AI. Teor de água (%) de sementes de amendoim sob condições controladas de temperatura (°C) e umidade relativa (%), armazenadas por seis meses.

Teor de água (% b.s.)/Tempo Armazenamento							
Temperatura 10°C							
UR %	0	30	60	90	120	150	180
5,4	8,76	4,01	2,80	2,43	1,70	1,63	2,40
33,47	8,76	5,95	5,45	5,47	5,19	5,15	5,47
62,15	8,76	8,20	7,58	8,07	7,65	7,77	8,57
75,67	8,76	9,92	10,90	12,58	12,59	12,47	11,35
86,77	8,76	13,07	14,88	17,25	17,36	16,63	18,80
Temperatura 20°C							
4,1	8,76	2,41	2,06	1,68	1,87	1,69	1,80
33,07	8,76	4,93	4,93	4,78	4,79	4,44	4,72
59,14	8,76	6,83	6,93	6,91	6,61	6,77	7,03
75,47	8,76	10,03	10,17	10,12	10,80	10,40	11,08
85,11	8,76	12,99	14,36	14,71	14,86	13,83	15,42
Temperatura 30°C							
10	8,76	2,06	1,65	1,85	1,67	1,39	1,98
32,44	8,76	4,50	4,45	4,31	4,34	4,22	4,44
56,03	8,76	6,23	6,15	6,06	6,04	5,69	6,28
75,09	8,76	9,14	9,39	9,52	9,49	9,59	9,44
83,62	8,76	12,14	12,68	13,09	12,36	13,03	13,20
Temperatura 40°C							
12,5	8,76	1,76	1,44	1,19	1,04	1,24	1,71
31,6	8,76	4,14	3,77	3,34	3,24	3,11	3,81
53,17	8,76	5,49	4,50	5,16	4,79	4,84	4,70
74,68	8,76	8,65	8,29	8,76	7,55	7,15	8,90
82,32	8,76	12,11	10,02	11,13	9,31	10,03	11,58
Test.	8,76	7,65	8,91	8,80	9,23	10,01	12,43

UR% - Umidade relativa, percentagem.

Tabela III. A2. Germinação (%) de sementes de amendoim sob condições controladas de temperatura (°C) e umidade relativa (%), armazenadas por seis meses.

Germinação(%) / Tempo Armazenamento							
Temperatura 10°C							
UR %	0	30	60	90	120	150	180
5,4	80	75	68	53	46	37	36
33,47	80	69	63	53	50	43	36
62,15	80	80	59	51	47	46	45
75,67	80	75	61	59	51	45	42
86,77	80	77	64	49	29	15	0
Temperatura 20°C							
4,1	80	68	51	42	39	27	26
33,07	80	72	64	50	42	41	29
59,14	80	75	49	48	55	43	41
75,47	80	66	59	45	27	0	0
85,11	80	49	29	19	17	0	0
Temperatura 30°C							
10	80	69	49	42	42	38	37
32,44	80	63	47	43	41	38	37
56,03	80	63	56	45	40	39	38
75,09	80	53	42	27	0	0	0
83,62	80	22	0	0	0	0	0
Temperatura 40°C							
12,5	80	59	41	35	18	19	18
31,6	80	64	49	42	29	24	23
53,17	80	55	45	29	18	17	15
74,68	80	19	3	0	0	0	0
82,32	80	0	0	0	0	0	0
Test.	80	69	46	43	19	7	0

UR% - Umidade relativa, percentagem.

Tabela III. A3. Vigor (%) de sementes de amendoim sob condições controladas de temperatura (°C) e umidade relativa (%), armazenadas por seis meses.

Vigor (%)/Tempo Armazenamento							
Temperatura 10°C							
UR %	0	30	60	90	120	150	180
5,4	71	63	61	48	41	36	36
33,47	71	60	57	47	47	43	36
62,15	71	61	56	51	47	46	45
75,67	71	55	53	57	48	45	42
86,77	71	61	59	48	27	13	0
Temperatura 20°C							
4,1	71	51	45	41	35	26	26
33,07	71	54	51	49	41	40	29
59,14	71	55	35	47	47	43	41
75,47	71	49	47	43	27	0	0
85,11	71	31	24	18	15	0	0
Temperatura 30°C							
10	71	49	43	41	39	37	37
32,44	71	51	43	43	40	38	37
56,03	71	52	46	44	39	38	38
75,09	71	39	32	25	0	0	0
83,62	71	10	0	0	0	0	0
Temperatura 40°C							
12,5	71	41	34	30	16	19	18
31,6	71	45	42	40	27	23	22
53,17	71	39	34	26	17	17	14
74,68	71	13	1	0	0	0	0
82,32	71	0,0	0	0	0	0	0
Test.	71	48,0	43	40	13	7	0

UR% - Umidade relativa, percentagem.

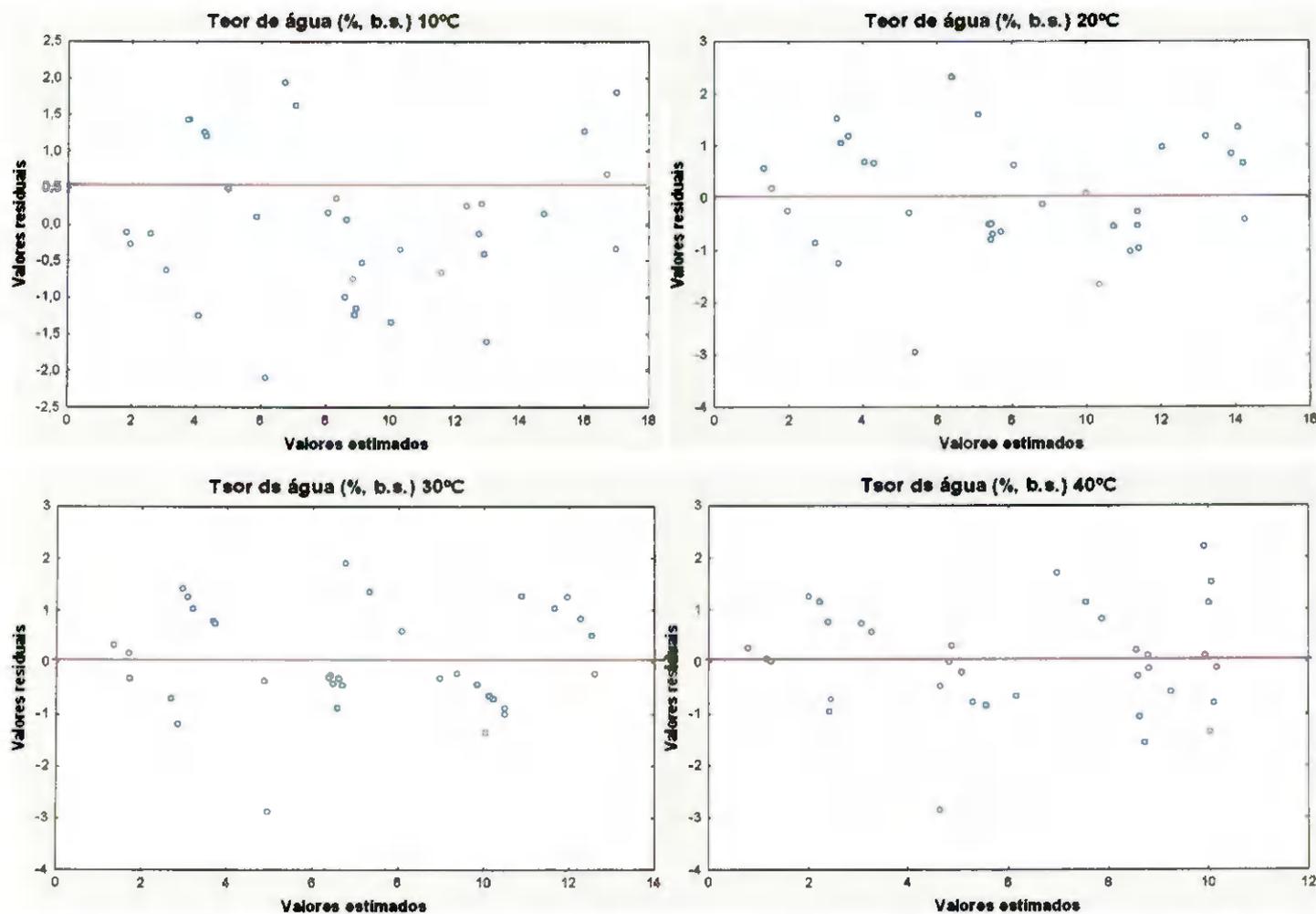


Figura III. 1A. Distribuição dos resíduos do modelo cúbico de teor de água (%) de sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento (180dias) para a temperatura de 10, 20, 30 e 40°C.

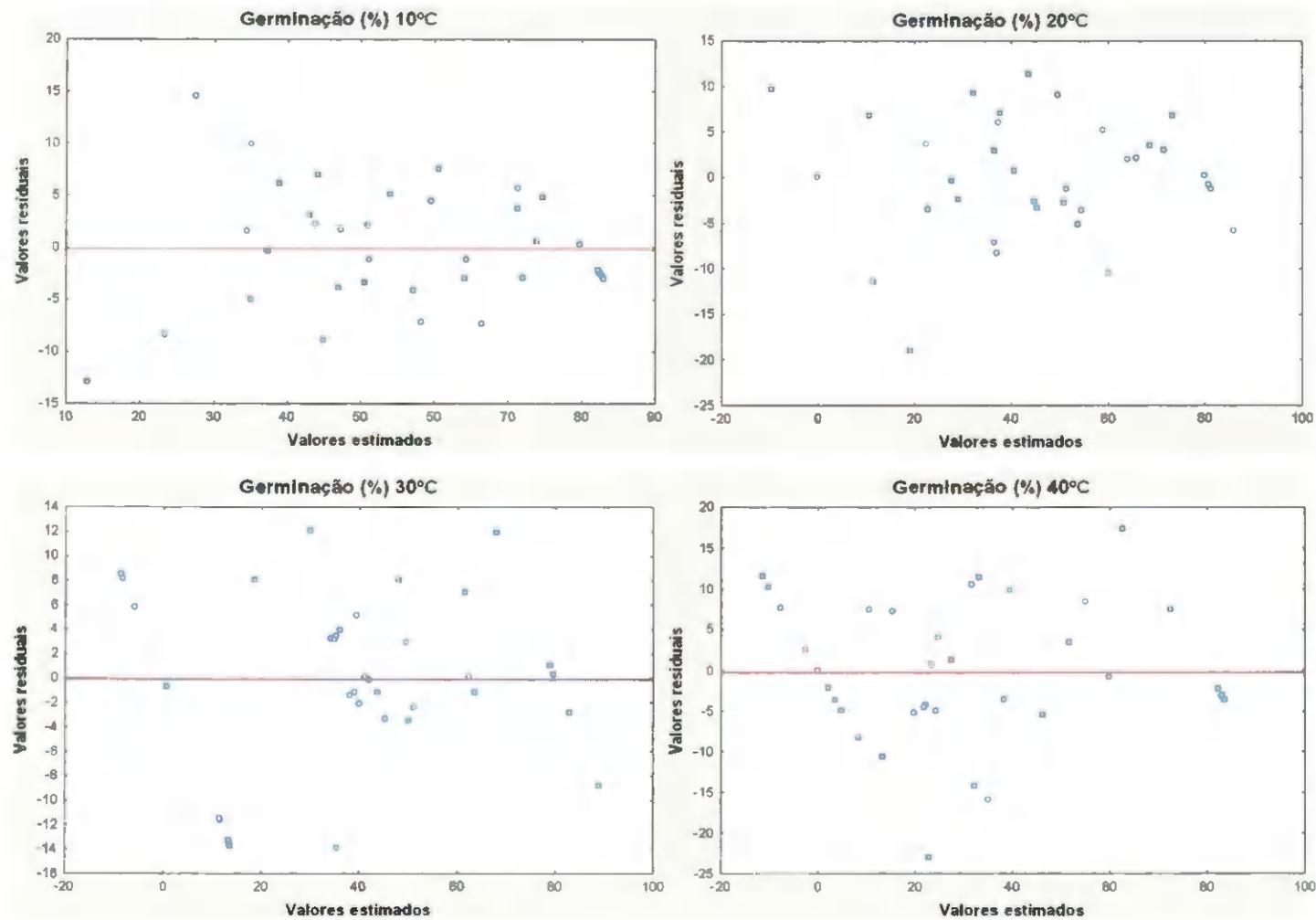


Figura III. 2A. Distribuição dos resíduos do modelo cúbico da germinação (%) de sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento (180dias) para a temperatura de 10, 20, 30 e 40°C.

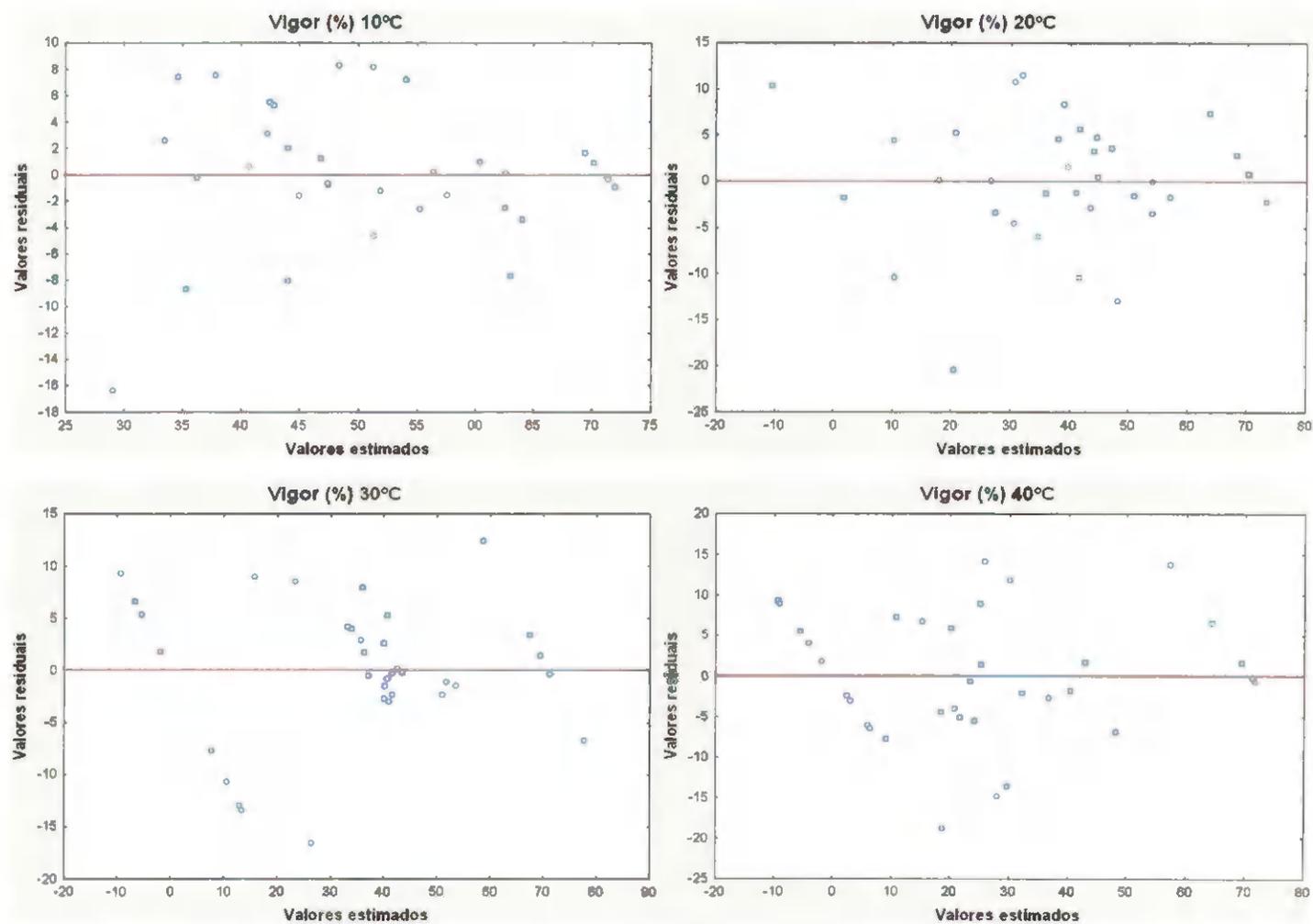


Figura III. 3A. Distribuição dos resíduos do modelo cúbico do vigor (%) de sementes de amendoim em função da umidade relativa do ar e do tempo de armazenamento (180dias) para a temperatura de 10, 20, 30 e 40°C.