



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



Tese Apresentada na Área Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas

**EFEITO DO ARMAZENAMENTO CRIOGÊNICO NA QUALIDADE
FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE ALGODÃO E AMENDOIM**

LÍVIA WANDERLEY PIMENTEL

Campina Grande - PARAÍBA
(Agosto /2013)

**EFEITO DO ARMAZENAMENTO CRIOGÊNICO NA QUALIDADE
FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE ALGODÃO E AMENDOIM**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

Área de Concentração: Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas

Orientadores:

Prof. Dr. Mário Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata (UFCG)

Prof^a. Dra. Maria Elita Martins Duarte (UFCG)

**EFEITO DO ARMAZENAMENTO CRIOGÊNICO NA QUALIDADE
FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE ALGODÃO E AMENDOIM**

BANCA EXAMINADORA

Professor Dr. Mário Eduardo R. Moreira Cavalcanti Mata, UEAg/CTRN/UFCG
Orientador

Professora Dra. Maria Elita Martins Duarte, UEAg/CTRN/UFCG
Orientadora

Professora Dra. Josivanda Palmeira Gomes, UEAg/CTRN/UFCG
Examinadora

Professora Dra. Deyzi Santos Gouveia, UEAg/CTRN/UFCG
Examinadora

Dr. Renato Fonseca Aragão, UEAg/CTRN/UFCG
Examinador

Dra. Severina de Sousa
Examinadora

Agosto – 2013

*É a presença de DEUS que faz a caminhada valer a pena, que não nos deixa desanimar
diante das lutas, que nos fortalece nas fraquezas, que nos socorre nas tribulações.
Obrigada meu DEUS, por Tua fidelidade.*

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Rui Vilarim Pimentel (in memoriam) e Lúcia Vilar Wanderley Nóbrega, dedico o meu trabalho, por terem me dado todo o apoio e incentivo que precisei para conseguir alcançar mais esse objetivo. Agradeço a eles por tudo que me proporcionaram, por terem participado e contribuído para o meu crescimento.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela presença constante e silenciosa na minha vida, concedendo-me paz, tranquilidade, equilíbrio e sabedoria nos momentos que mais precisei.

Ao Prof. Dr. Mário Eduardo R. M. Cavalcanti Mata e a Prof^ª. Dr^ª. Maria Elita Martins Duarte, que aceitaram me orientar e me apoiaram em todos os momentos do trabalho. Os incentivos e orientação recebidas foram essenciais para o meu crescimento acadêmico e pessoal. *A minha eterna gratidão, respeito, admiração e carinho.*

À Empresa Estadual de Pesquisas Agropecuária da Paraíba - EMEPA por fornecer as sementes de algodão e amendoim.

Aos doutores, mestres, alunos, funcionários e colegas do laboratório de Armazenamento e processamento de Produtos Agrícolas no bloco CZ da Universidade Federal de Campina Grande, que tão bem me acolheram.

À minha irmã Nara Wanderley Pimentel por preciosa ajuda no decorrer dos trabalhos.

À CAPES por ter me concedido bolsa de estudos para desenvolver este trabalho.

Ao Departamento de Engenharia agrícola por ter me acolhido e concedido a honra de fazer parte de seu corpo discente.

A todos que colaboraram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xii
RESUMO GERAL.....	xiv
GENERAL ABSTRACT.....	xvi
1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Importância e descrição do Algodoeiro e do Amendoim.....	4
2.1.1 O Algodoeiro.....	4
2.1.2 O Amendoim.....	6
2.2 Propriedades físicas.....	8
2.2.1 Tamanho e forma.....	8
2.2.2 Dimensão.....	9
2.2.3 Massa e volume.....	10
2.2.4 Esfericidade.....	10
2.2.5 Massa específica real e aparente.....	10
2.2.6 Porosidade.....	11
2.2.7 Calor específico.....	13
2.2.8 Condutividade térmica e Difusividade térmica.....	13
2.3 Teor de água de equilíbrio higroscópico	14
2.4 Teor de água limite para crioconservação.....	15
2.5 Cinética de congelamento.....	17
2.6 Armazenamento	20
2.7 Armazenamento e qualidade fisiológica das sementes.....	21

2.8 Armazenamento crogênico.....	25
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28
CAPÍTULO I - Efeito do teor de água nas propriedades físicas de sementes de algodão topázio e amendoim havana.....	40
I-RESUMO.....	41
I- ABSTRACT.....	42
I-1. INTRODUÇÃO.....	43
I-2. MATERIAL E MÉTODOS.....	45
I 2.1 Características do material.....	45
I.2.2 Secagem das sementes.....	46
I.2.4 Umedecimento das sementes.....	46
I.2.4 Propriedades físicas das sementes.....	45
I.2.4.1 Massa de mil sementes.....	47
I.2.4.2 Tamanho das 3 maiores dimensões mutuamente perpendiculares.....	47
I.2.4.3 Volume (v).....	48
I.2.4.4 Massa específica real ou unitária (ρ_r).....	49
I.2.4.5 Esfericidade (ϕ).....	47
I.2.4.6 Massa específica aparente (ρ_a).....	48
I.2.4.7 Porosidade (ϵ).....	48
I.2.4.8 Calor específico pelo método da Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) (c_p).....	49
I.2.4.9 Difusividade térmica (α).....	51
I.2.4.10 Condutividade térmica (k).....	51
I-3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
I-4. CONCLUSÕES.....	72

I-5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
CAPÍTULO II - Atividade de água de sementes de algodão topázio e amendoim havana em função do teor de água.....	77
II-RESUMO.....	78
II-ABSTRACT.....	78
II-1. INTRODUÇÃO.....	79
II-2. MATERIAL E MÉTODOS.....	81
II.2.1 Equações para o equilíbrio higroscópico.....	81
II-3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	84
II-4. CONCLUSÕES.....	94
II-5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95
CAPÍTULO III - Curvas de congelamento de sementes de algodão topázio e amendoim havana.....	98
III-RESUMO.....	99
III-ABSTRACT.....	99
III-1. INTRODUÇÃO.....	100
III-2. MATERIAL E MÉTODOS.....	102
III-3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	104
III-4. CONCLUSÕES.....	115
III-5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	116
CAPÍTULO IV - Teor de água limite para a criopreservação de sementes de algodão topázio e amendoim havana.....	118
IV -RESUMO.....	119
IV --ABSTRACT.....	119

IV -1. INTRODUÇÃO.....	120
IV -2. MATERIAL E MÉTODOS.....	122
IV.2.1 Secagem das sementes.....	123
IV.2.2 Umedecimento das sementes.....	123
IV.2.3 Teste de vigor.....	124
IV.2.4 Análise estatística.....	124
IV -3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	125
IV -4. CONCLUSÕES.....	132
IV -5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	133
CAPÍTULO V - Crioconservação de sementes de algodão topázio e amendoim havana.....	136
V-RESUMO.....	137
V-ABSTRACT.....	137
V-1. INTRODUÇÃO.....	138
V-2. MATERIAL E MÉTODOS.....	140
V.2.1 Análise da qualidade fisiológica.....	141
V.2.1.1 Teste de germinação.....	141
V.2.1.2 Teste de vigor.....	141
V.2.2 Análise estatística.....	141
V-3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	142
V-4. CONCLUSÕES.....	149
V-5. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	150
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	152

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
FIGURA A.1	Sementes de amendoim -BRS Havana	7
FIGURA A.2	Curva de congelamento da água pura. Fonte: PEREDA et al. (2005) 20	19
CAPÍTULO I		
FIGURA I.1	Medições das sementes correspondentes ao comprimento (a), a largura (b) e a espessura (c).	47
FIGURA I.2	Determinação do volume das sementes pelo método do deslocamento de água.	48
FIGURA I.3	Efeito do teor de água no massa de mil sementes de algodão	55
FIGURA I.4	Efeito do teor de água no massa de mil sementes de amendoim.	55
FIGURA I.5	Volume e distribuição dos resíduos para os dados das sementes de algodão	58
FIGURA I.6	Massa específica real e distribuição dos resíduos para os dados das sementes de algodão.	59
FIGURA I.7	Massa específica aparente e distribuição dos resíduos para os dados das sementes de algodão.	60
FIGURA I.8	Porosidade e distribuição dos resíduos para os dados das sementes de algodão.	61
FIGURA I.9	Esfericidade e distribuição dos resíduos para os dados das sementes de algodão.	62
FIGURA I.10	Volume e distribuição dos resíduos para os dados das sementes de amendoim.	63
FIGURA I.11	Massa específica real e distribuição dos resíduos para os dados das sementes de amendoim.	64
FIGURA I.12	Massa específica aparente e distribuição dos resíduos para os dados das sementes de amendoim.	65
FIGURA I.13	Porosidade e distribuição dos resíduos para os dados das sementes de amendoim.	66
FIGURA I.14	Esfericidade e distribuição dos resíduos para os dados das sementes de amendoim.	67
FIGURA I.15	Calor específico das sementes de algodão em função do teor de água	68
FIGURA I.16	Difusividade das sementes de algodão em função do teor de água	69
FIGURA I.17	Condutividade térmica das sementes de algodão em função do teor de água.	69
FIGURA I.18	Calor específico das sementes de amendoim em função do teor de água	70
FIGURA I.19	Difusividade das sementes de amendoim em função do teor de água	70

FIGURA I.20	Condutividade térmica das sementes de amendoim em função do teor de água	71
--------------------	--	----

CAPÍTULO II

FIGURA II.1	Aparelho utilizado para determinar a atividade de água.	81
FIGURA II.2	Distribuição dos resíduos para o modelo de Henderson modificado por Cavalcanti-Mata utilizado nos dados das sementes de algodão .	85
FIGURA II.3	Distribuição dos resíduos para o modelo de Sigma-Copace utilizado nos dados das sementes de algodão	86
FIGURA II.4	Distribuição dos resíduos para o modelo de Sabbah utilizado nos dados das sementes de algodão.	86
FIGURA II.5	Distribuição dos resíduos para o modelo de Copace utilizado nos dados das sementes de algodão.	87
FIGURA II.6	Distribuição dos resíduos para o modelo de Copace utilizado nos dados das sementes de amendoim.	87
FIGURA II.7	Distribuição dos resíduos para o modelo de Sabbah utilizado nos dados das sementes de amendoim.	88
FIGURA II.8	Distribuição dos resíduos para o modelo de Sigma-Copace utilizado nos dados das sementes de amendoim.	88
FIGURA II.9	Valores experimentais e estimados do teor de água de equilíbrio para as sementes de algodão, utilizando-se o modelo de Copace.	89
FIGURA II.10	Valores experimentais e estimados do teor de água de equilíbrio para as sementes de algodão, utilizando-se o modelo de Henderson modificado por Cavalcanti Mata.	90
FIGURA II.11	Valores experimentais e estimados do teor de água de equilíbrio para as sementes de algodão, utilizando-se o modelo de Sabbah	90
FIGURA II.12	Valores experimentais e estimados do teor de água de equilíbrio para as sementes de algodão, utilizando-se o modelo de Sigma-Copace	91
FIGURA II.13	Valores experimentais e estimados do teor de água de equilíbrio para as sementes de amendoim, utilizando-se o modelo de Copace	91
FIGURA II.14	Valores experimentais e estimados do teor de água de equilíbrio para as sementes de amendoim, utilizando-se o modelo de Sabbah.	92
FIGURAS II.15	Valores experimentais e estimados do teor de água de equilíbrio para as sementes de amendoim, utilizando-se o modelo de Sigma-Copace	92

CAPÍTULO III

FIGURA III.1	Curvas experimentais e calculadas de congelamento pela equação de Fourier, utilizando o 1º termo da série das sementes de algodão e amendoim com teor de água ajustado para 4% b.u C	106
FIGURA III.2	Curvas experimentais e calculadas de congelamento pela equação de Fourier, utilizando o 1º termo da série das sementes de algodão e amendoim com teor de água ajustado para 8% b.u	107
FIGURA III.3	Curvas experimentais e calculadas de congelamento pela equação de Fourier, utilizando o 1º termo da série das sementes de algodão e amendoim com teor de água ajustado para 10% b.u	108

FIGURA III.4	Curvas experimentais e calculadas de congelamento pela equação de Fourier, utilizando o 1° termo da série das sementes de algodão e amendoim com teor de água ajustado para 12% b.u	109
FIGURA III.5	Curvas experimentais e calculadas de congelamento pela equação de Fourier, utilizando o 1° termo da série das sementes de algodão amendoim com teor de água ajustado para 14% b.u	110
FIGURA III.6	Variação da difusividade térmica de sementes de algodão amendoim com a temperatura e o teor de água.	112

CAPÍTULO IV

FIGURA IV.1	Recipiente hermético utilizado para umedecimento das sementes de algodão. (A) visão superior e (B) visão lateral.	123
--------------------	---	-----

CAPÍTULO V

FIGURA V.1	(A) Botijão criogênico com Nitrogênio Líquido a $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$; (B) Canister feito em aço inoxidável.	140
-------------------	--	-----

LISTA DE TABELAS

		Pág.
CAPÍTULO I		
TABELA I.1	Médias das três dimensões, a, b e c altura, largura e espessura, respectivamente, das sementes de algodão e amendoim em milímetros (mm).	52
TABELA I.2	Médias do massa de mil sementes para as sementes de algodão e amendoim em função do teor de água.	54
TABELA I.3	Valores de algumas propriedades físicas das sementes de algodão em relação ao teor de água.	56
TABELA I.4	Valores de algumas propriedades físicas das sementes de amendoim em relação ao teor de água.	56
CAPÍTULO II		
TABELA II.1	Modelos matemáticos utilizados para o ajuste dos dados experimentais.	82
TABELA II.2	Coeficientes dos modelos ajustados aos teores de água de equilíbrio higroscópico para as sementes de algodão, com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2).	84
CAPÍTULO III		
TABELA III.1	Tempo gasto (em segundos) para o congelamento das sementes de algodão e amendoim com teores de água de 4, 8, 10, 12 e 14% b.u nas temperaturas de -25, -60, -150 e -196 °C	105
TABELA III.2	Valores de difusividade térmica efetiva das sementes de algodão para temperaturas de -25, -60, -150 e -196 °C	113
TABELA III.3	Valores de difusividade térmica efetiva das sementes de amendoim para temperaturas de -25, -60, -150 e -196 °C .	114
CAPÍTULO IV		
TABELA IV.1	Valores das médias para a germinação (%) das sementes de algodão Topázio armazenadas a temperatura ambiente e crioconservadas por 5 dias.	125
TABELA IV.2	Valores das médias para a germinação (%) das sementes de amendoim Havana armazenadas a temperatura ambiente e crioconservadas por 5 dias.	127
TABELA IV.3	Valores médios do vigor (%) das sementes de algodão para 6 teores de água depois de crioconservadas por 5 dias.	128
TABELA IV.4	Valores médios do vigor (%) das sementes de amendoim para 6 teores de água depois de crioconservadas por 5 dias.	130
CAPÍTULO V		

TABELA V.1	Comparação entre medias dos valores médios de germinação das sementes de algodão e amendoim, quando submetidas ao período de armazenamento de 180 dias.	142
TABELA V.2	Síntese da análise de variância da germinação e vigor das sementes de algodão Topázio e amendoim Havana.	143
TABELA V.3	Valores médios da germinação e vigor das sementes de algodão Topázio, para os fatores período de armazenamento e temperaturas de armazenamento.	144
TABELA V.4	Valores médios da germinação e vigor das sementes de amendoim Havana, para os fatores período de armazenamento e temperaturas de armazenamento.	145
TABELA V.5	Comparação das médias do vigor das sementes de algodão na interação tempo x temperatura.	146
TABELA V.6	Comparação das médias do vigor das sementes de amendoim na interação tempo x temperatura	147

EFEITO DO ARMAZENAMENTO CRIOGÊNICO NA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE ALGODÃO E AMENDOIM

RESUMO GERAL

O armazenamento criogênico de sementes constitui uma forma de conservação da diversidade genética de espécies vegetais, porém, para o armazenamento eficiente dessas sementes, sua qualidade fisiológica deve ser mantida pelo maior período possível, o que depende do conhecimento prévio do comportamento fisiológico das sementes durante o armazenamento. Objetivou-se estudar as propriedades físicas, teor de água de equilíbrio higroscópico, a cinética de congelamento criogênico em diferentes temperaturas e teores de água, a determinação do teor de água limite para a crioconservação (TALC) e a crioconservação por seis meses de sementes de algodão Topázio e amendoim Havana. Para as propriedades físicas determinou-se o volume e a massa específica real das sementes pelo o método da medida de massa de água deslocada; a massa específica aparente, foi calculada pela relação entre a massa das sementes e o volume ocupado por estas sementes; a porosidade, através da relação entre a massa específica aparente e a massa específica real; o calor específico, a condutividade térmica e a difusividade térmica. Para a cinética de congelamento foram utilizadas sementes com teor de água de 4, 8, 10, 12 e 14% b.u., nas temperaturas de -20 °C (freezer), -60 °C (balcão criogênico), -150 °C (balcão ultrafreezer) e -196 °C (nitrogênio líquido). Para o teor de água limite as sementes foram secas e/ou umedecidas para obtenção dos teores de 4, 6, 8, 10,12, 14% b.u em seguida, crioconservadas em nitrogênio líquido (-196 °C), no vapor de nitrogênio (-150 °C), no balcão criogênico (-60 °C), em freezer a -20 °C e em temperatura ambiente por um período de 5 dias e submetidas, após o descongelamento lento, aos testes de germinação e vigor. Para o armazenamento criogênico, as sementes foram crioconservadas por 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias nas temperaturas de 25, -20, 60, -150 e -196 °C e no final de cada período de armazenamento as sementes foram submetidas aos testes de germinação e vigor. Verificou-se que um da massa de mil sementes, o teor de água nas sementes provocou uma elevação na esfericidade. Com a elevação do teor de água, a massa específica real, massa específica aparente e a porosidade diminuíram. O teor de água de equilíbrio higroscópico do algodão Topázio e do amendoim Havana são diretamente proporcional a umidade relativa do ar e decresce com o aumento de temperatura, para um mesmo valor de umidade relativa de equilíbrio. O modelo de Henderson modificado por Cavalcanti-Mata foi o que melhor representou a higroscopicidade das sementes de algodão e o modelo de Sabbah para as sementes de amendoim. As curvas de congelamento obtidas para as temperaturas de -25, -60 e -150 e -196 °C se assemelham à curva de congelamento de um material com baixo teor de água onde a cinética de congelamento é expressa por uma curva exponencial, para os resultados da difusividade térmica dentro de um mesmo teor de água, observa-se uma oscilação destes valores, sem constituir um padrão definido de aumento ou diminuição, com a conseqüente variação da temperatura. As sementes de algodão possuem um TALC entre 6 a 8% b.u para -170 °C e 8% b.u para -196 °C. As sementes de amendoim tanto se crioconservam bem nas temperaturas de -170 °C quanto -196 °C para uma faixa de teor de água de 10-12%b.u. A conservação criogênica das sementes de algodão Topázio e amendoim Havana aumentaram o percentual de germinação e o vigor das sementes estudadas durante 6 meses.

Palavras-chave: sementes, nitrogênio líquido, higroscopicidade.

EFFECT OF CRYOGENIC STORAGE IN PHYSIOLOGICAL QUALITY COTTON SEEDS AND PEANUT

ABSTRACT

Cryogenic storage of seeds is a way of preserving genetic diversity of plant species, however, for efficient storage of the seed, its physiological quality should be maintained for the longest period, which depends on prior knowledge of the physiological behavior of the seed during storage. The objectives was to study the physical properties, hygroscopic equilibrium moisture, kinetic of cryogenic freezing at different temperatures and moisture contents, the determination of water content limit for the cryopreservation and cryopreservation for six months of seed Topaz cotton and peanuts Havana. For the physical properties determined the actual volume and unity density of the seeds by the method of measuring the mass of water displaced; bulk density was calculated by the relationship between seed mass and the volume occupied by these seeds; the porosity, as the ratio between the bulk density and the unity density; specific heat, thermal conductivity and thermal diffusivity. seeds containing more than 4, 8, 10, 12 and 14% wb water content were used, at temperatures of -20 °C (freezer), -60 °C (cryogenic counter), -150 °C (counter Ultrafreezer) and -196 °C (liquid nitrogen) to the kinetics of freezin. To limit moisture content to cryoconservation of the seeds were dried and / or humidified to obtain the levels of 4, 6, 8, 10,12, 14% wb then cryopreserved in liquid nitrogen (-196 ° C) in nitrogen vapor (-150 °C) in cryo counter (-60 °C) at -20 °C and ambient temperature for a period of 5 days and submitted after slow thawing, the germination and vigor tests. For cryogenic storage, seeds were cryopreserved for 30, 60, 90, 120, 150 and 180 days at 25, -20, 60, -150 and -196 °C and at the end of each storage period, seeds were submitted to the germination and vigor tests. It was found that one of the thousand seed mass, the water content in the seeds resulted in a high sphericity. With increasing water content, the unity density, bulk density and porosity decreased. The equilibrium moisture content of cotton and peanut Havana Topaz water are directly proportional to the relative humidity and decreases with increasing temperature for the same amount of equilibrium relative humidity. Henderson's model modified by Cavalcanti-Mata was best represented the hygroscopicity of cotton seeds and the Sabbah model for peanut seeds. The curves obtained for the freezing temperatures of -25, -60, -150 °C and -196 resemble the curve for freezing a material with a low water content where the kinetics of freezing is expressed by an exponential curve for thermal diffusivity results within the same water content, there is an oscillation of these values, but are a set pattern of increased or decreased, with a consequent temperature variation. The cotton seeds have a TALC from 6 to 8% bu -170 °C and 8% wb to 196 °C. The peanut seeds so if cryoconserved well at temperatures of -170 ° C and -196 °C for a range of water content of 10-12% wb cryogenic storage of cotton seed and peanut Havana Topaz increased the percentage of germination and seed vigor studied for 6 months.

Keywords: seeds, liquid nitrogen, hygroscopicity.

1- CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O Brasil caracteriza-se por ser um país com relevância no setor do agronegócio mundial, destacando-se de 2000 à 2012 a produção de grãos, sementes, produtos florestais e carnes. As sementes, por sua vez, são um dos principais insumos dessa rede produtiva e possuem um papel fundamental na sobrevivência de espécies, na produção de alimento e matérias-primas essenciais, na multiplicação de plantas e no melhoramento genético.

Frequentemente constata-se nos programas de melhoramento genético a necessidade do armazenamento de sementes para futuras avaliações do potencial fisiológico e longevidade, garantindo, aos agricultores, o desenvolvimento e lançamento de cultivares que atendem as suas necessidades produtivas (PRITCHARD, 2004). Portanto, para o desenvolvimento dessas cultivares é essencial a existência de bancos de germoplasma que representem, expressivamente, a variabilidade genética da espécie, cujos recursos genéticos possam ser obtidos com facilidade.

Um dos principais objetivos dos bancos de germoplasma é desenvolver métodos para conservação do germoplasma por longos períodos com a máxima integridade genética e biológica possível (THEILADE & PETRI 2003). Para isso, utiliza-se uma metodologia convencional, submetendo as sementes a um processo de desidratação para teores de água baixos e armazenamento em câmaras a temperaturas abaixo de zero. Uma grande variedade de sementes consegue manter a viabilidade após um longo prazo nessas condições e são classificadas como ortodoxas. Todavia, existem sementes sensíveis à desidratação e posterior congelamento, classificadas como recalcitrantes. Essas espécies são comumente mantidas em coleções no campo ou em casas de vegetação fazendo com que a viabilidade dessas sementes seja mantida por curto ou médio prazo.

Algumas técnicas biotecnológicas vêm apresentando novas perspectivas para a conservação dos recursos genéticos vegetais utilizando-se a conservação *in vitro*, ou a crioconservação que vêm tornando-se indispensáveis para a conservação *ex situ*. A crioconservação tem sido aplicada a sementes de numerosas espécies, cereais e gramíneas, plantas ornamentais, frutíferas tropicais e temperadas, leguminosas e oleaginosas (SANTOS, 2000).

O algodão (*Gossypium hirsutum* L.) e o amendoim (*Arachis hypogaea* L.) apresentam sementes muito susceptíveis a danos fisiológicos devido à instabilidade química dos lipídios que se deterioram mais rapidamente durante o armazenamento

convencional, aliado à presença de microrganismos que contribuem na aceleração desse processo, exigindo avaliações periódicas do material vegetal, para evitar eventuais perdas da variabilidade genética, principalmente quando mantidas em bancos de germoplasmas (BELTRÃO & AZEVEDO, 2008). Portanto, a aplicação da técnica de criopreservação em detrimento do armazenamento convencional torna-se uma alternativa para a conservação dessas sementes de reconhecida importância econômica para o País.

Todavia, em um banco criogênico, não só o processo de criopreservação, em si, deve ser levado em consideração, mas também alguns elementos como as características físicas da semente, a velocidade de congelamento, o teor de água limite para a criopreservação e o potencial de armazenamento da semente.

Com base nos fatos acima mencionados, estuda-se nesta pesquisa a criopreservação de sementes de algodão e amendoim, onde este trabalho foi dividido em cinco capítulos, buscando-se abranger as etapas para o estabelecimento de um protocolo de armazenamento a longo prazo a baixas temperaturas.

Inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica a fim de reunir ideias oriundas de diferentes fontes assim como conhecer o que já foi desenvolvido por outros pesquisadores. Esta revisão abrange todo o conteúdo desta pesquisa, de modo que os capítulos ficam com ausência deste conteúdo, estando estes capítulos já na conformação de artigos a serem publicados.

O primeiro capítulo aborda algumas características físicas das sementes (volume (V), massa específica real (ρ_r) e aparente (ρ_a), porosidade (ϵ), calor específico (C_p), difusividade (α) e condutividade térmica (k), pois o conhecimento de tais características é importante para o manejo da espécie durante o armazenamento.

No segundo capítulo, busca-se conhecer o equilíbrio higroscópico das sementes de algodão e amendoim em diferentes temperaturas (40, 30, 20 e 15 °C), que é de fundamental importância para manter o potencial fisiológico das sementes durante o armazenamento convencional.

No terceiro capítulo, busca-se conhecer a cinética de congelamento criogênico das sementes de algodão e amendoim em diferentes temperaturas (-25, -60, -150 e -196 °C), pois, a distribuição de temperatura no interior do produto durante o processo de congelamento varia consideravelmente, definindo as potencialidades de sua criopreservação.

O quarto capítulo trata da determinação do teor de água limite para a crioconservação das sementes de algodão e amendoim, fator primordial para garantir a qualidade e longevidade das sementes crioconservadas, podendo variar entre espécies e dentro da própria espécie.

O quinto capítulo aborda a crioconservação em si, ou seja, o armazenamento das sementes a baixas temperaturas avaliando a germinação e o vigor no decorrer de seis meses de armazenamento.

2 – REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância e descrição do algodoeiro e do amendoim

2.1.1. O Algodoeiro

O algodoeiro, *Gossypium hirsutum* L., é considerada uma das espécies vegetais cultivadas mais antigas do mundo. Sua fibra é a mais utilizada pelo homem e a mais importante das fibras têxteis. Tem registros desde 3000 anos a.C. e, cerca de 1500 anos a.C. já era cultivada na Índia para a fabricação de tecidos. Mil anos mais tarde, os chineses teciam panos de algodão (MELO, 2004).

Na era imperial, o algodão teve sua importância econômica. Durante a década de 1820, as exportações de algodão só perdiam para as de açúcar, ficando à frente, inclusive das vendas externas de café. Contudo, sua força foi principalmente regional. Devido à sua resistência à seca, o cultivo do algodão foi implantado em vários estados do Nordeste a partir da segunda metade do século XVIII, sendo cultivado principalmente por pequenos e médios lavradores, em conjunto com a produção de alimentos voltados ao consumo próprio (BUAINAIN & BATALHA, 2007).

Dentre as 54 espécies catalogadas no gênero *Gossypium*, pertencentes à família *Malvaceae*, na qual o algodoeiro está inserido, apenas quatro são cultivadas comercialmente: *G. hirsutum*, *G. barbadense*, *G. herbaceum* e *G. arboreum*. Destas, a *G. hirsutum* é a principal espécie, ocupando quase que a totalidade das áreas produtoras de algodão no mundo. Essa espécie se diferenciou em raças, e no Brasil assim como no mundo o algodoeiro herbáceo ou anual (*Gossypium hirsutum* L. raça *latifolium* Hutch.) é a mais importante. No Brasil, o algodoeiro arbóreo (mocó) ou perene (*Gossypium hirsutum* L. raça *marie galante* Hutch), de grande importância até a década de 80, atualmente encontra-se restrito a pequenas áreas na região do semiárido nordestino (CHIAVEGATO et al., 2009).

Em diversos momentos o cultivo do algodão no Brasil deparou-se com desafios à sustentabilidade da cotonicultura, enfrentando incentivos à importância, à praga do bicudo, a substituição do tipo arbóreo pelo herbáceo, e o deslocamento para as regiões do cerrado e outros desafios. Nos dias de hoje, abastece a indústria têxtil, sendo responsável por 60% dos tecidos produzidos no País, e gera grande número de empregos desde a lavoura até a

indústria, constituindo-se uma cultura de alta importância social e econômica (ANUARIO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 2013). A tecnologia de produção do algodão adotadas nas condições de cerrado brasileiro, especialmente na região Centro-Oeste do País, onde se encontra a maior parte da produção nacional, é responsável pela geração de, em média, quatro empregos por hectares cultivado (BELTRÃO & AZEVEDO, 2008).

Ainda segundo BELTRÃO & AZEVEDO (2008) além do Distrito Federal, o algodão está sendo plantado em mais 15 Unidades da Federação, e sua importância vem aumentando também em decorrência do óleo, uma importante alternativa para produção de energia (biodiesel). Segunda oleaginosa do Brasil, o algodão perde apenas para a soja em área plantada, apesar das atuais cultivares só apresentarem cerca de 15 % de óleo em suas sementes, há a possibilidade de, futuramente, ter-se uma ou mais cultivares com boas qualidades de fibra elevado teor de óleo para atender à moderna indústria têxtil, nacional e estrangeira e ao mercado emergente de bionergia. Mundialmente, o algodão é uma das dez principais culturas, plantado economicamente em mais de 60 países e outros 150 produzem ou consomem algodão em pluma, que veste quase metade da humanidade.

O Brasil foi um dos países que mais se beneficiaram com os grandes investimentos realizados em tecnologia para a cotonicultura, que ocorreram notadamente a partir da segunda metade da década de 1990. Desde então, o país passou a ostentar os maiores níveis de produtividade entre os principais países produtores de algodão no mundo. Na safra 2009/2010, o Brasil alcançou valores impressionantes de produtividade com uma média de 1.419 kg/ha, um rendimento por área que foi quase o dobro da média mundial, de 733 kg/ha. Na safra 2010/2011, apesar de um leve declínio em função de condições climáticas, a produtividade brasileira (1.322 kg/ha) se manteve superior em relação aos demais países, inclusive da chinesa (1.289 kg/ha). Para a safra 2011/2012, a produtividade média brasileira foi ainda maior que em 2009/2010, passando para 1.457 kg/ha, quando a média mundial permaneceu em 751,5 kg/ha (FREIRE, 2011).

A principal produção do algodoeiro é o fruto e sua massa é composta pelas sementes (52%), fibras (40%) e demais estruturas botânicas (8%). As sementes contêm aproximadamente 15% de óleo, 3% de fibras, 40% de proteínas e 42% de tegumentos. Já as fibras, estruturas compostas por camadas de celulose, são o principal produto econômico do algodoeiro (GARCIA-LORCA & CARNERO, 1991; BELTRÃO & AZEVEDO, 2008).

De acordo com FERREIRA FILHO et al. (2011), em termos econômicos, a pluma é o principal produto primário do algodão. Trata-se das fibras mais longas do algodão em

caroço. Virtualmente, toda pluma produzida se destina à fabricação de fios, os quais são consumidos quase que exclusivamente pela indústria têxtil. Além dos diferentes tipos de fibra, o algodoeiro fornece um produto cujo valor tem sido cada vez mais reconhecido pelo mercado e que também apresenta uma diversificada gama de aplicações: o caroço. Excelente fonte de óleo e proteínas, o caroço pode ser utilizado como suplemento na alimentação humana e animal ou mesmo para a fabricação de biodiesel.

Outra boa perspectiva de mercado se refere ao potencial para o aumento da utilização do óleo na produção de biodiesel. No que tange à qualidade, o óleo de algodão fornece uma excelente matéria-prima devido à sua constituição equilibrada de ácidos graxos e baixa acidez. No que se refere à oferta, o algodão é a segunda oleaginosa em termos de volume de produção de óleo no país, atrás somente da soja. Em termos de custo de produção, por se tratar de um subproduto, o óleo de algodão costuma apresentar custo inferior aos demais óleos vegetais (BELTRÃO, 2011). Contudo, apesar de apresentar qualidade, oferta e bons preços, cerca de 3% apenas do biodiesel produzido no país é oriundo do óleo de algodão. A soja, responsável por quase 90% da produção de óleo vegetal e biodiesel no país, se beneficia da alta produtividade de óleo por hectare e da vasta área plantada (ANP, 2013).

2.1.2 Amendoim

Durante a década de 1960, o Brasil destacava-se como importante produtor mundial de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) e um dos maiores produtores de óleo de amendoim (MARTINS & PEREZ, 2006). Entretanto, as políticas agrícolas praticadas em resposta ao cenário macroeconômico nacional e internacional, durante as décadas de 1970 e 1980, voltadas a favorecer o desenvolvimento de culturas de exportação (tradeables), consistiram num dos principais fatores que contribuíram para o declínio da cultura no Brasil (FREITAS et al., 2003; BACHA, 2004).

O Brasil possui plenas condições naturais, clima e solo, para produzir amendoim de boa qualidade. De modo gradual, a lavoura brasileira de amendoim vai se recuperando desse longo período de estagnação (SANTOS et al., 2013).. Já o processo de adoção de novas tecnologias propiciou uma significativa redução nos custos de produção da referida lavoura. As soluções tecnológicas, como o desenvolvimento de cultivares, a colheita mecanizada, a secagem artificial do produto e as condições adequadas de armazenamento,

já estão sendo disponibilizadas para o produtor, cooperativas e outros agentes envolvidos em sua cadeia produtiva. Os produtores estão em busca de técnicas agrícolas que permitam maior produtividade e custo de produção menor. A introdução de novas cultivares tem contribuído para o aumento de produtividade e para o atendimento às especificidades do mercado externo (MARTINS & PEREZ, 2006).

De acordo com SANTOS et al. (2013) o amendoim (Figura A.1) é uma cultura de alto valor socioeconômico, sendo a quarta oleaginosa cultivada no mundo. No Brasil, é cultivado em cerca de 90 mil hectares, com uma produção por volta de 300 mil toneladas ao ano, colocando o País na posição de exportador de grãos e produtos derivados. Grande parte dessa produção é destinada ao consumo in natura e à indústria de alimentos. Atualmente, o amendoim é cultivado em todas as regiões do Brasil, sendo a região Sudeste a maior produtora e o Estado de São Paulo, líder da produção nacional com cerca de 80%, seguido pelo Paraná e Minas Gerais como o segundo e terceiro estados de maior parcela produtiva .

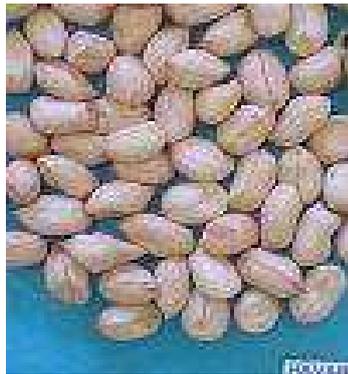


FIGURA A.1- Sementes de amendoim -BRS Havana

escala, da região Sudeste, seguida pela Centro-Oeste e Nordeste. O estado de São Paulo é o maior produtor, responsável por cerca de 80% da produção nacional (SANTOS et al., 2013). De acordo com dados da Conab na safra 2011/2012, o Brasil alcançou uma produtividade média de 3.137 kg/ha, e chegando a quase 94,0 mil ha plantados (CONAB, 2013).

O amendoim se destaca pelo seu alto valor alimentar, além de ser uma oleaginosa bastante conhecida e apreciada, tanto para o consumo in natura como processado o que o torna largamente consumido por adultos e crianças nas mais diversas formas. Suas sementes possuem valores satisfatórios em vitaminas e minerais além de apresentar aproveitamento em torno de 40 e 50% na extração de óleo e farelo.

Nos últimos anos, as pesquisas vêm revolucionando a agricultura e os hábitos alimentares da população mundial. Nesse contexto, o amendoim tem se destacado como alimento saudável e de grande importância para muitos países, integrando vários programas de erradicação da fome e de redução da desnutrição infantil, graças à sua alta palatabilidade e ao seu elevado teor de proteínas e óleos insaturados. Além de ser uma cultura de grande significado social, por contribuir com a sustentabilidade da agricultura em diversas partes do planeta, adapta-se bem em regiões de climas equatoriais e temperados, podendo ser cultivado com êxito em quase todos os tipos de solos (SANTOS et al., 2013).

2.2 Propriedades físicas

O estudo das características físicas das sementes recebeu grande contribuição com o trabalho de Nuri N. Mohsenin em 1970, que sintetizou as características importantes que deveriam ser determinadas para a compreensão dos processos envolvidos no beneficiamento e conservação de sementes, constituindo um marco de interesse para diversos pesquisadores (DUARTE et al., 2006).

Portanto, o conhecimento das características físicas dos produtos agrícolas é de fundamental importância para a adequada conservação e para o dimensionamento e operação de equipamentos para as principais operações pós-colheita de produtos agrícolas. A fim de minimizar os custos de produção para maior competitividade e melhoria da qualidade do produto processado, a determinação e o conhecimento das características físicas das sementes de algodão e amendoim contribuem para o adequado desenvolvimento de processos e simulações, que visem aperfeiçoar o sistema produtivo dessas culturas.

2.2.1 Tamanho e forma

O tamanho e a forma das sementes são características intrinsecamente ligadas e por este motivo, difícil de estudá-las separadamente, visto que para os cálculos de fatores de forma utilizam-se medidas de tamanho. Costuma-se definir formas de sementes por semelhança com formas geométricas conhecidas.

São muitos os métodos utilizados para caracterizar uma semente quanto a sua forma. Os métodos descritivos, que apenas nomeiam as sementes conforme um diagrama padrão, pré-determinado, ajudam na escolha de equações adequadas para se fazer aproximações de volume, área superficial, área projetada e demais características relativas á forma, porém os métodos de maior utilidade nos projetos de beneficiamento e conservação de sementes, são aqueles que fornecem um fator de forma. Os fatores de forma, na maioria dos projetos, são usados como fatores de correção do processo segundo um modelo empregado, funcionam como incremento de equações para uma melhor aproximação do fenômeno estudado, como exemplo pode-se citar o caso de transporte de partículas sólidas em um fluido (DUARTE et al., 2006)

Segundo CARVALHO & NAKAGAWA (2000), as sementes de maior tamanho geralmente foram mais bem nutridas durante o seu desenvolvimento, possuindo embriões bem formados e com maior quantidade de substâncias de reserva, sendo, conseqüentemente, as mais vigorosas. POPINIGIS (1985) comentou que o tamanho da semente, em muitas espécies, é indicativo de sua qualidade fisiológica, e as sementes pequenas, dentro de um mesmo lote, apresentam menor germinação e vigor do que as médias e grandes.

A influência do tamanho das sementes sobre a qualidade fisiológica tem sido pesquisada com certa intensidade em várias espécies. A separação das sementes por classes de tamanho para determinação da qualidade fisiológica, através de testes de germinação e vigor, tem sido bastante empregada, visando encontrar a classe ideal para multiplicação das diversas espécies vegetais (TORRES, 1994).

As características que definem uma semente quanto ao tamanho são: dimensões da semente em planos mutuamente perpendiculares, massa, volume, área superficial e área projetada.

2.2.2 Dimensões

Segundo DUARTE et al. (2006), as dimensões referentes ao comprimento, largura e espessura podem ser determinadas com um paquímetro, no entanto, nos casos de certas sementes de tamanhos diminutos estas medidas não são tão simples de se obter com precisão. Para certificar-se de que os diâmetros medidos são os máximos, em cada direção, costuma-se, também, fazer a projeção da semente em três planos, procedendo-se da

seguinte forma: utilizando um retro projetor e uma escala milimétrica transparente, projeta-se a semente, inicialmente em repouso, em papel milimetrado, e dessa forma obtém-se as duas maiores dimensões da semente, correspondentes ao maior diâmetro (a) e o diâmetro intermediário (b). Em seguida gira-se a semente 90°, horizontalmente, e obtém-se a nova projeção de onde pode se retirar o menor diâmetro (c) e, novamente, maior diâmetro (a). Por fim, gira-se a semente 90°, verticalmente, e obtém-se a terceira projeção que permite medir, novamente, diâmetro intermediário (b) e menor diâmetro (c). Desse modo cada dimensão pode ser medida duas vezes, o que permite uma boa aferição dessas medidas. A escala projetada, simultaneamente, com a semente permite a transformação para o tamanho real das medidas.

2.2.3 Massa e volume

A massa consiste na simples pesagem da semente em balança de precisão adequada. A massa pode ser dada em mg, g ou kg. Já o volume da semente pode ser obtido por semelhança geométrica e daí utiliza-se uma equação matemática que melhor represente a forma da semente, ou ainda, por deslocamento de massa de fluido (DUARTE, 2006).

2.2.4 Esfericidade

PAVANI (1992) define o grau de esfericidade como sendo a relação entre a área da superfície de uma esfera que tenha o mesmo volume da partícula e a área da superfície exterior da mesma. Para uma esfera esse valor é igual a 1.

DUARTE et al. (2006) define esfericidade como sendo um fator que indica o quão próximo está a sementes de uma esfera.

GUPTA & DAS (1997) estudando a esfericidade das sementes de amendoim e algodão para a variedade indiana precoce Morden, verificaram que a esfericidade variou de 0,47 a 0,67 com média de 0,57 com 6,2% de umidade base seca.

2.2.5 Massa específica real e aparente

A massa específica real é a relação existente entre a massa de produto e seu volume real. Pode ser determinada pelo método do deslocamento de líquidos. Para DUARTE et al.

(2006) os fluidos utilizados nos testes de deslocamento de massa devem ser aqueles com características mínimas de absorção, a utilização de água é desaconselhável a menos que a semente sofra um tratamento de impermeabilização em sua superfície.

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. A aplicação do conhecimento da massa específica aparente se dá em comercialização, dimensionamento de silos, secadores, depósitos e sistemas de transporte, podendo ser utilizada para determinar teores de água e danos causados por pragas e insetos nas sementes armazenadas (SILVA & CORRÊA, 2000).

Para a determinação da massa específica aparente utiliza-se geralmente, uma balança de peso hectolítrico ou um picnômetro. A massa específica aparente é calculada pela simples relação entre a massa das sementes e o volume ocupado por estas sementes (volume do recipiente ou do picnômetro), nesse caso a porosidade também compõe o volume da amostra (DUARTE et al., 2006) .

2.2.6 Porosidade

A porosidade intergranular de um produto agrícola é conhecida como a relação entre os espaços aleatórios formados pelo agrupamento desse produto com o volume aparente pré-determinado, sendo então, uma característica física do material. BENEDETTI (1987) relata que a porosidade aumenta com o aumento do teor de água dos grãos.

O estudo da porosidade é muito importante, pois 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 termoelétricos. Sendo essa característica física o principal fator que define a resistência à passagem do ar no processo de secagem e aeração de produtos agrícolas (CAVALCANTI MATA & DUARTE, 2002).

Segundo esses mesmos autores, a porosidade intergranular de produtos agrícolas pode depender de muitos outros fatores, entre os quais pode-se citar:

- Forma e tamanho do produto;
- Desuniformidade dos produtos (tamanhos grandes misturados com pequenos);
- Impurezas;

- Percentual de grãos danificados;
- Teor de água (agregação entre os grãos);
- Altura de queda dos grãos;
- Arranjo das partículas no escoamento;
- Compactação do material (carga consolidada);
- Acomodação das partículas por vibração.

Alguns autores como ROSSI & ROA (1980), utilizaram a água para determinar a porosidade em sementes, mas a água utilizada como líquido, para medir o volume dos espaços intergranulares, não elimina as fontes de erros descritos quando se utiliza o mercúrio, por exemplo, podendo apenas diminuir, no entanto, ocorrerem outros possíveis erros como a possibilidade de absorção de água pelo produto.

Como os líquidos não são considerados satisfatórios para medir a porosidade intergranular de produtos agrícolas, foram realizadas novas pesquisas utilizando gases como veículo de medição. Assim, GUSTAFSON & HALL (1972) utilizaram um picnômetro de comparação Hélio-ar conjugado com uma bomba a vácuo, para determinar a porosidade de milho, variedade Dekalb XL-66.

A porosidade também pode ser obtida utilizando a Equação I.1:

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

em que,

ε - porosidade da massa granular, %;

ρ_a - massa específica aparente, kg.m^{-3} ;

ρ_r - massa específica real ou unitária, kg.m^{-3} .

Vários autores têm pesquisado as modificações das características físicas como tamanho, volume, massas específicas aparente e real e porosidade, em função do teor de água e de outros fatores para diversos produtos como, por exemplo, canola (LANG & SOKHANSANJ, 1993), milho pipoca (RUFFATO et al., 1999), ervilha (BARYEH & MANGOPE, 2002), semente de algodão (OZARSLAN, 2002), semente de abóbora

(PAKSOY & AYDIN, 2004) e feijão (RESENDE et al., 2008). De modo geral observa-se que essas características, para a maior parte dos produtos agrícolas, diminuem com o aumento do teor de água, enquanto a porosidade da massa granular aumenta.

2.2.7 Calor específico

O calor específico (c_p) é a quantidade de calor necessária para elevar um grau Celsius a temperatura de um grama de determinada substância ($J/g^{\circ}C$) e é descrito em função do conteúdo de água não congelada, de gelo e de sólidos totais (RAHMAN, 1995).

Diversos pesquisadores estudaram o comportamento dessa propriedade térmica com a variação do teor de água de vários materiais biológicos e observaram existir uma relação em que o aumento do teor de água provoca elevação dos valores de calor específico (SHARMA & THOMPSON, 1973; MOURA et al., 1998; ANDRADE et al., 2004). Dentre os métodos para determinação do calor específico, o das misturas, proposto por Mohsenin (1980), é o mais comumente utilizado em pesquisas para determinação de calor específico de grãos e de sementes. Este método baseia-se em estabelecer o equilíbrio térmico de massas conhecidas de água e produto, com diferentes temperaturas, em calorímetro com capacidade calorífica conhecida.

2.2.8 Condutividade térmica e difusividade térmica

A condutividade térmica (k) é uma propriedade do material que descreve a habilidade do mesmo de conduzir calor. Equivale a quantidade de calor transmitida através de uma dada espessura, na direção normal à superfície, devido a um gradiente de temperatura $\left(\frac{\partial T}{\partial X}\right)$ conforme equação I.2 (RAHMAN, 1995).

$$q = -k.A.\frac{\partial T}{\partial X} \tag{I.2}$$

Em que, q é a taxa de calor (W), k a condutividade térmica ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$), A a área transversal ao fluxo (m^2) e $\left(\frac{\partial T}{\partial X}\right)$ é o gradiente de temperatura por unidade de espessura ($\text{K}\cdot\text{m}^{-1}$).

O efeito do teor de água sobre a condutividade e a difusividade térmica de diversos produtos vegetais tem sido objeto de estudo de vários autores, os quais verificaram relações diretamente proporcionais entre as propriedades estudadas, podendo ser satisfatoriamente representadas por uma função linear (ANDRADE et al., 2004; KAZARIAN & HALL, 1965; SUBRAMANIAN & VISWANATHAN, 2003). KAZARIAN & HALL (1965), verificaram que os valores da condutividade térmica também aumentaram linearmente com o teor de água do produto, para a faixa de umidade entre 5,71 e 25,63 %b.s. MUIR & CHANDRA (1970) observaram que a condutividade térmica do trigo variou de 0,1382 a 0,1670 ($\text{W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$) para teores de água entre 4 e 34 %b.s.

RIBEIRO et al. (2007) avaliando as propriedades térmicas dos grãos de trigo, de uma variedade nacional (Aliança), concluíram que o calor específico e a condutividade térmica do trigo aumentam, enquanto a difusividade térmica apresenta redução dos seus valores com a elevação do teor de água e que estas propriedades térmicas do trigo variam linearmente com o teor de água, sendo satisfatoriamente representadas pelo modelo linear simples.

2.3 Teor de água de equilíbrio higroscópico

De acordo com FANTINATTI et. al, (2005), os grãos e sementes, como qualquer material higroscópico, mantêm o equilíbrio do seu teor de água com a umidade relativa do ar, a uma dada temperatura. Isto é, eles têm a capacidade de ceder ou absorver água de acordo com a umidade relativa do ar contido no espaço intersticial da massa de sementes. Portanto, grãos e sementes em contato com um ambiente onde a umidade relativa oscila ganharão ou perderão umidade. No ponto de equilíbrio, a pressão de vapor d'água dentro do grão e sementes é igual à pressão de vapor d'água no ar intersticial. Quando as sementes e o ar que a envolve apresentam diferentes pressões de vapor, a umidade se movimentará da substância de maior pressão de vapor para a de menor pressão até atingir um ponto de equilíbrio. Nesse ponto, cessa o transporte da umidade.

No pré-processamento, composto por beneficiamento, secagem e armazenagem, surge à importância do conhecimento do comportamento higroscópico das sementes. A modelagem e a simulação de secagem ou armazenamento dependem muito do conhecimento prévio das curvas de equilíbrio do produto com o ambiente, a certa temperatura e umidade relativa do ar. As curvas de equilíbrio higroscópicas são propriedades termodinâmicas úteis para se determinar as interações que ocorrem entre a água e os elementos componentes do produto (OLIVEIRA et al., 2004).

Então, a determinação da curva do equilíbrio higroscópico são de extrema importância para controle da matéria prima durante o período em que as sementes estão armazenadas.

2.4 Teor de água limite para crioconservação

Sementes são armazenadas com diferentes finalidades e a exigência em mantê-las viáveis por curta duração ou por períodos mais longos é o que vai definir a aplicação de tecnologias menos ou mais elaboradas (SILVA et al., 2012). Quando as sementes são armazenadas como recursos genéticos, a sua viabilidade deve ser mantida durante várias décadas ou até mesmo séculos, visando preservar sua integridade genética. A implementação de condições mais rigorosas durante o armazenamento de sementes tem relação direta com a exigência de se ampliar a sua longevidade. Para espécies com sementes ortodoxas, o aumento da sua longevidade pode ser obtido ajustando o teor de água das sementes para um nível ótimo e pela redução da temperatura de armazenamento (ESPINDOLA, 2007).

Os padrões para o armazenamento de sementes recomendam que sejam desidratadas até $5 \pm 2\%$ b.u e mantidas em temperaturas subzero, tendo o objetivo de garantir sua qualidade. A qualidade das sementes envolve a soma de diferentes propriedades ou características que determinam seu potencial de desenvolvimento em campo, incluindo componentes genéticos, físicos, fisiológicos e ainda a interação com microrganismos e insetos (MARCOS FILHO, 1998). A perda da qualidade ou do vigor das sementes evidencia seu processo de deterioração, neste aspecto, MARCOS FILHO (2005) afirma que independente do processo de armazenamento, mesmo considerando as condições ótimas de teor de água e de temperatura, todas as sementes sofrem o processo de deterioração, levando a perda gradativa da viabilidade e do vigor, sendo considerado um

processo contínuo. Contudo diversos autores alegam que as sementes possuem condições de ativar mecanismos de auto-reparo, quando o processo de germinação não é irremediavelmente afetado pelo processo de deterioração (VIEIRA & CARVALHO, 1994; COOLBEAR, 1995; MARCOS FILHO, 2005).

Tais mecanismos de reparo ocorrem a nível celular, através da regeneração de diversas organelas tais quais plastídios, mitocôndrias, ribossomos, entre outros, ou ainda em nível molecular, com a reparação de danos ocorridos na molécula de DNA. Moléculas de DNA afetadas pela deterioração da semente devem ser reparadas logo no início do processo de germinação. Caso haja uma demora neste processo, em consequência da redução da atividade de enzimas chaves, a germinação poderá ser mais demorada, ou ainda não ocorrer (VIEIRA & CARVALHO, 1994; MARCOS FILHO, 2005).

Além disso, BRAGANTINI (2005) afirma que as sementes utilizam o oxigênio do espaço intergranular na respiração, acompanhado da metabolização das substâncias de reserva. Portanto, sementes armazenadas se deterioram lenta ou rapidamente, dependendo da temperatura e do seu teor de água. O processo respiratório é baixo em sementes com teor de água abaixo de 12%, o que prolonga a manutenção da qualidade.

De acordo com CUNHA (1996), o teor de água da semente é, provavelmente, o fator mais crítico para o sucesso da crioconservação, pois se este teor for muito alto, ocorre morte instantânea da semente durante o processo de congelamento e/ou descongelamento. Em virtude disto, instituiu-se ao longo das pesquisas criogênicas com sementes um teor de água limite para crioconservação (TALC), que é fator determinante para a manutenção da viabilidade das sementes armazenadas variando de espécie para espécie.

Em geral, de acordo com TOUCHELL & DIXON (1994), um aumento no teor de água da semente implica em uma diminuição na sobrevivência da semente após o armazenamento criogênico. Ainda de acordo com os autores, para que as sementes possam resistir ao armazenamento em nitrogênio líquido, o TALC deve ser obtido, embora isto não possa ser possível para aquelas espécies onde a viabilidade declina quando é submetida ao processo de secagem (sementes recalcitrantes). Para estas espécies, métodos de congelamento alternativos (congelamento de embriões, por exemplo) devam ser considerados, advertem os autores.

Diversos pesquisadores mostraram a importância do teor de água das sementes na crioconservação. ALMEIDA et al. (2002) e MORAES (2001) determinando o TALC para sementes de mamona de duas variedades, chegaram à faixa de 4 a 10% de teor de água,

como os valores mais apropriados para as duas variedades consideradas no estudo; esta indicação também encontra apoio nos trabalhos desenvolvidos com *Sesamum indicum*, por BATISTA (2000) e ALMEIDA et al. (2000) em 10 leguminosas crioconservadas com teores de água entre 6 e 10% b.u.

Segundo GOLDFARB et al. (2008), as sementes de pinhão manso podem ser crioconservadas à temperatura de -196 °C, com teor de água entre 4 a 8% base úmida, pois sua germinação e o seu vigor não são alterados significativamente. No entanto, o teor de água limite para crioconservação dessas sementes foi estabelecido como sendo 8 %, b.u., uma vez que, se outros teores de água fossem considerados, os custos de secagem seriam envolvidos, propiciando maiores gastos. Segundo COELHO (2006), para as cultivares de algodão herbáceo, colorido BRS 200 Marrom e BRS Verde, o teor de água limite encontra-se entre 6 e 8% para ambas cultivares.

TRESENA et al. (2010) pesquisando sobre o teor de água mais adequado à crioconservação das sementes de ipê amarelo (*Tabebuia chrysotrica* (Mart. Ex. DC.) Standl.)concluiu que sementes com teores de água acima de 4% b.u. têm sua germinação e vigor diminuídos significativamente, portanto o teor de água limite para crioconservação de sementes de ipê amarelo é de 4%b.u.

2.5 Cinética de congelamento

As manifestações ocorridas durante o congelamento dependem das condições do processo de congelamento, mas principalmente da velocidade de resfriamento (CAVALCANTI MATA, 2008). À medida que ocorre a diminuição da temperatura, retardam-se consideravelmente os fenômenos promovidos pela ação de agentes deteriorantes como microrganismos, enzimas e reações químicas. Desta forma um maior tempo de preservação do produto é obtido quando são utilizadas baixas temperaturas.

A circunstância de conservação de um produto, o manuseio e o processo de resfriamento ou congelamento adotado irão interferir na sua qualidade final. GRUDA & POSTOLSKI (1996), afirmam que a velocidade de congelamento de um produto depende de diferentes fatores, entre estes, método de congelamento, tamanho do produto, composição química, propriedades físicas (densidade, calor específico e difusividade térmica) e do tipo de embalagem ou envoltório.

O congelamento é o processo de transformação da água líquida em água sólida, mais conhecida como gelo. Desta forma, em um processo de congelamento típico, o gelo se forma externamente a célula e a água intracelular permanece líquida, tendo uma pressão de vapor e energia livre maiores do que a do gelo externo, a mesma temperatura. A água intracelular move-se através da parede celular e contribui para a formação dos cristais de gelo extracelular, iniciando o processo de cristalização (PEREDA et al., 2005). Para que a mudança de fase ocorra, é necessário que o calor latente de cristalização do produto seja removido, e, principalmente que exista um núcleo servindo como base para a formação e crescimento do cristal de gelo (REID, 1983). O principal objetivo do congelamento é a conservação do produto, em condições de oferecer uma qualidade desejável para a utilização futura. Como é de se esperar, o estado da matéria-prima, manuseio e o método de resfriamento ou congelamento adotado irão influir na qualidade do produto final (NEVES FILHO, 1991).

Pode-se considerar que a diminuição da temperatura durante o congelamento divide-se em três etapas. A primeira consiste no resfriamento do produto até a temperatura em que se inicia seu congelamento (eliminação de calor sensível). Na segunda etapa, produz-se a cristalização da maior parte da água presente no alimento (subtração do calor latente correspondente à formação de cristais de gelo). Essa etapa é justamente a que requer mais energia pelo elevado calor latente de fusão da água (335 kJ kg a 0 °C e pressão atmosférica). Na terceira etapa, ocorre a posterior redução da temperatura do produto congelado até a temperatura final desejada (é preciso eliminar novamente calor sensível) (PEREDA et al., 2005).

Os processos que ocorrem durante o congelamento pode ser observados na curva de congelamento da água (Figura A.2). A temperatura da água deve diminuir abaixo dos 0 °C para que se inicie a nucleação (super-resfriamento, ponto S). No momento em que os núcleos adquirem o tamanho crítico e começam a formarem-se os primeiros cristais de gelo, a velocidade de liberação do calor latente devido à cristalização é maior do que a velocidade em que se elimina esse calor da amostra, e a temperatura eleva-se a 0°C (temperatura de equilíbrio de congelamento da água pura; ponto B). A mistura de água e gelo mantém-se a essa temperatura, enquanto se produz a mudança de estado (segmento BC). Somente quando se completa a transformação da água líquida em gelo é que a temperatura diminui até aproximar-se da temperatura do meio de resfriamento (segmento CD). Vale destacar que, por ser o calor específico do gelo menor que o da água, a

diminuição da temperatura do gelo é muito mais rápida agora do que na água, antes de seu congelamento (KASAHARA et al., 1986; PEREDA et al., 2005).

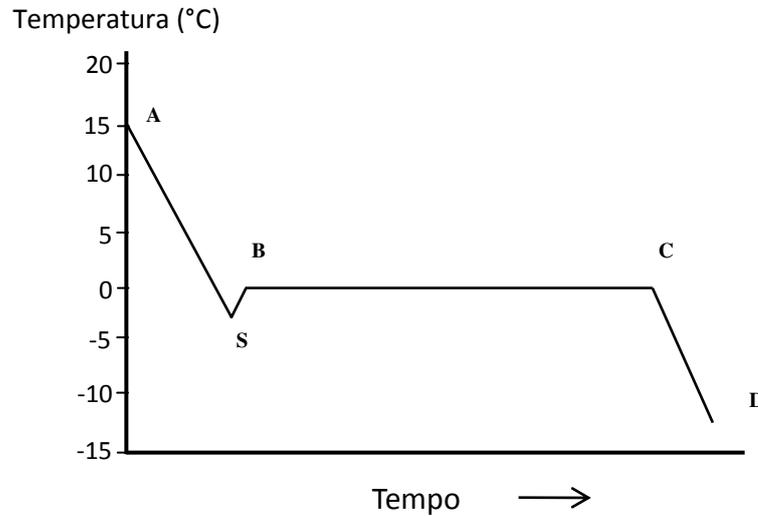


FIGURA A.2- Curva de congelamento da água pura. Fonte: PEREDA et al. (2005)

NEVES FILHO (1991) e COELHO (2006) descrevem que, no processo de congelamento há a conversão da maior parte da água contida no produto em gelo, fenômeno que depende da composição e estrutura deste produto, sua forma física, temperatura e condições do meio empregado. Isto permite a conservação durante longos períodos; contudo, a formação de cristais de gelo é uma das principais causas de certas modificações indesejáveis durante o congelamento.

Um processo de congelamento rápido resulta em melhor qualidade do produto final. De acordo com COLLA & PRENTICE-HERNÁNDEZ (2003). O processo de congelamento é considerado rápido quando a etapa de transição líquido – sólido leva poucos minutos, dependendo do produto. Quanto menor for o tempo de duração dessa etapa, menores são os cristais formados dentro do produto que está sendo congelado. Portanto, no congelamento lento formam-se cristais maiores do que no congelamento rápido, ocasionando a ruptura das membranas celulares devido aos cristais formados no espaço intercelular (COLLA & PRENTICE-HERNÁNDEZ, 2003).

As manifestações ocorridas durante o congelamento (cristalização, nucleação e recristalização) dependem das condições do processo de congelamento, mas principalmente da velocidade de resfriamento. Estas propriedades estão sujeitas a mudanças durante o congelamento, como consequência da diminuição de temperatura e da alteração do estado da água presente no produto, sendo necessário seu conhecimento,

devido estes serem parâmetros que influenciam na velocidade e no tempo de congelamento.

Segundo NEVES FILHO (1991), durante o processo de congelamento, diferentes regiões do produto passarão por vários estágios em tempos distintos. Considerando-se uma região ou um ponto do produto, os três estágios de alterações ou de temperaturas, podem ser definidos. Inicialmente, há o estágio de resfriamento, compreendendo o período decorrido entre o início do processo, com o produto a uma alta temperatura, até que se atinja a temperatura na referida região onde começa a cristalização da água. Em seguida, tem-se o estágio de congelamento, período no qual a temperatura sofre pequena variação, onde a maior parte da água muda de fase, transformando-se em gelo. Finalmente, tem-se o período de redução da temperatura na qual a maior parte da água já foi convertida em gelo, até atingir uma temperatura final, considerada como a temperatura em qualquer parte do produto, inclusive seu centro térmico (ARAÚJO et al., 2000).

DINIZ (1999) observou em estudos realizados com sementes de milho, que a velocidade de congelamento tem sido um dos fatores mais relevantes para o sucesso da crioconservação das sementes, os autores observaram rachaduras internas e externas nas sementes devido a uma contração volumétrica muito rápida, provocada pelo congelamento às temperaturas criogênicas (abaixo de $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$), todavia, esse fator, tem acarretado uma diminuição da viabilidade das sementes, induzindo a formação de plântulas anormais. No sentido de solucionar o problema, propuseram que as sementes deveriam ser submetidas primeiramente a um resfriamento próximo a temperatura à $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e posterior congelamento a temperaturas criogênicas. Porém, se as sementes forem ainda sensíveis a este processo, os autores recomendaram que, depois das sementes atingirem a temperatura próxima a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, essas devem ser congeladas a temperaturas negativas intermediárias (-90 a $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$) e só depois crioconservadas a temperaturas de $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ ou $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. Os autores propuseram ainda, o uso de crioprotetores quando nenhum dos processos acima citados fossem eficientes.

GOLDFARB et al. (2010) verificando a determinação da curva de congelamento das sementes de pinhão-mansão nas temperaturas de $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ (vapor de nitrogênio) e a $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ (nitrogênio líquido) concluíram que quanto maior o gradiente térmico a que as sementes são expostas, maior a difusividade térmica e a velocidade de congelamento.

2.6 Armazenamento

2.6.1 Armazenamento e qualidade fisiológica das sementes

No momento em que o homem deixou de ser nômade e passou a cultivar seu próprio alimento, ele utilizou o armazenamento como uma atividade essencial, necessitando conservar sementes para o próximo plantio. Inicialmente essa atividade consistia apenas como uma proteção contra aves, insetos e microrganismos e, mais tarde, os aspectos ligados à viabilidade e aos fatores ambientais que interferem a sua longevidade. A complexidade das técnicas utilizadas durante o armazenamento das sementes depende fundamentalmente, da finalidade da conservação e da longevidade requerida (MEDEIROS & EIRA, 2006).

O armazenamento de sementes significa conservar essas sementes, procurando manter a sua máxima qualidade fisiológica, física, e sanitária, diminuindo ao máximo sua deterioração com a finalidade de uso no futuro. O envelhecimento ou deterioração das sementes, durante o armazenamento, é um processo irreversível que envolve alterações fisiológicas, bioquímicas e físicas, entretanto a velocidade do processo pode ser diminuída por meio de metodologias adequadas de produção, colheita, beneficiamento, transporte e armazenamento (VILLELA & PERES, 2004; MARCOS FILHO, 2005; SENA, 2008).

Durante o armazenamento, a conservação da qualidade das sementes é influenciada, entre outros fatores, pela sua qualidade inicial, teor de água, umidade relativa e temperatura do ar, ação de fungos e insetos, tipos de embalagens, disponibilidade de oxigênio e período de armazenamento (CARVALHO & NAKAGAWA, 2000).

HARRINGTON (1971) relata que no caso das espécies que se reproduzem por sementes é possível obter um aumento da longevidade dos materiais conservados, diminuindo a temperatura e umidade relativa no armazenamento. ROBERTS (1973) denominou as sementes que respondem adequadamente a este tratamento de “ortodoxas”, uma vez que elevados teores de água nas sementes tendem a acelerar o processo de deterioração das mesmas em razão da intensificação da atividade respiratória, consumo de reservas, liberação de calor e proliferação de microrganismos; por outro lado, aquelas sementes que não toleram estas condições, as denominou “recalcitrantes”, pois são geralmente caracterizadas por não sofrerem dessecação natural na planta-mãe ao longo do processo de maturação, sendo dispersas com elevados teores de água que, se reduzidos a

um nível considerado crítico, levarão à rápida perda da viabilidade e até à morte (ROBERTS, 1973).

Antes de definir o método de conservação é importante lembrar que existe uma grande quantidade de espécies vegetais, e por isso, distintos sistemas de reprodução, que de alguma forma estaria indicando qual seria o método mais eficiente de conservação.

No caso de sementes ortodoxas, o tempo de armazenamento e conservação das sementes é função do seu teor de água e da temperatura de armazenamento. Para essas espécies, o estabelecimento das condições que proporcionem a conservação da qualidade fisiológica das sementes, pelo maior período possível, têm sido amplamente estudadas, visto que a maioria das espécies cultivadas apresentam comportamento ortodoxo (COSTA, 2009). Para fins de conservação de recursos genéticos em bancos de germoplasma, sementes ortodoxas podem ser secas até cerca de 5% de umidade, acondicionadas em embalagem hermética e submetidas a temperaturas ultrabaixas, mantendo-se viáveis por várias décadas (FAO, 1993).

Algumas das unidades que armazenam sementes, como bancos de germoplasma, são de uso imediato ou com potencial de uso futuro. Neles não ocorre o descarte de acessos, o que os diferencia das coleções de trabalho, que são aquelas em que se elimina o que não interessa ao melhoramento genético. Podem ser classificados em bancos de base ou em bancos ativos. Os primeiros são aqueles em que se conserva o germoplasma em câmaras frias, *in vitro* ou em crioconservação, por longos prazos, podendo até ficar longe do local de trabalho do melhorista genético. São considerados "ativos" aqueles que estão próximos ao pesquisador, nos quais ocorre o intercâmbio de germoplasma e plantios frequentes para caracterização, o que proporciona a conservação apenas a curto e médio prazos.

A crioconservação consiste no armazenamento de sementes em botijões criogênicos nos quais elas são imersas em nitrogênio líquido, a uma temperatura de -196°C ou permanecem no vapor do nitrogênio, a uma temperatura de -170°C . A vantagem do emprego da crioconservação, em bancos de germoplasma, é que a viabilidade das sementes pode ser mantida por longos períodos de tempo, reduzindo a frequência das atividades de multiplicação e, portanto, o risco de contaminação e modificações no perfil genético dos acessos originais (STANWOOD & ROOS, 1979; GONZALEZ-BENITO et al., 1999).

Quando os grãos e sementes são armazenados em baixas temperaturas a possibilidade de deterioração é menor e pode compensar os efeitos do alto grau de umidade

em relação ao desenvolvimento de microrganismos, insetos e ácaros, que atacam os grãos armazenados. Quando a atividade vital (respiração) dos grãos e das sementes é controlada pelo grau de umidade, a conservação durante o período de armazenagem é boa. DELOUCHE & POTTS (1974) comentam que as sementes e os grãos são higroscópicos, ou seja, o seu grau de umidade está sempre em equilíbrio com a umidade relativa do ar. O alto grau de umidade nas sementes, combinado com altas temperaturas, aceleram os processos de degeneração dos sistemas biológicos, ocorrendo respiração intensa e consumindo seu material de reserva, de maneira que, nessas condições, as sementes perdem seu vigor e algum tempo depois sua capacidade de germinar.

Segundo SOUZA et al. (2007), a qualidade da semente é de suma importância para qualquer programa de produção de semente, pois apenas as sementes de elevado nível de qualidade proporcionam a maximização da ação dos demais insumos e fatores de produção empregados na lavoura. Destaca-se de igual importância os atributos fisiológicos relacionados à capacidade da semente de desempenhar suas funções vitais, ser portadora de vida e produzir uma plântula normal e essas características é observada pela sua longevidade, capacidade germinativa e pelo seu vigor. A conservação dessas sementes por períodos prolongados pode ser alcançada com o uso de técnicas adequadas durante o armazenamento, pois possibilita a manutenção da sua viabilidade (AZEVEDO et al., 2003).

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 em seguida, redução de sua qualidade fisiológica, pela intensificação do fenômeno da deterioração, processo inexorável e irreversível (HARRINGTON, 1971).

Porém a qualidade das sementes durante o armazenamento difere quanto ao tipo de sementes. As sementes oleaginosas apresentam menor potencial de armazenamento que as amiláceas, devido à menor estabilidade dos lipídeos em relação ao amido, uma vez que uma elevação moderada na temperatura, com consequência do processo respiratório, já é suficiente para a decomposição dos lipídeos e elevação da taxa de deterioração (KOBORI, 2011). Por esse motivo, as sementes de amendoim e algodão devem ser armazenadas teor de água inferior ao recomendado para as sementes de amiláceas (MARCOS FILHO, 2005).

Alguns trabalhos foram realizados com a finalidade de se verificar a qualidade fisiológica das sementes durante o armazenamento. O uso de sementes de alta qualidade

constitui em um dos principais fatores responsáveis pelo sucesso de uma lavoura. Sementes de erva-doce (*Foeniculum vulgare* Mill.) foram armazenadas em câmara fria por 315 dias. Os resultados indicaram que a qualidade fisiológica das sementes de erva-doce foi principalmente afetada pelo fungo *Alternaria* sp., ocorrendo a manutenção da viabilidade das sementes por aproximadamente 95 dias, a aplicação do inseticida Actara mantém a qualidade fisiológica das sementes de *Foeniculum vulgare* no armazenamento (GAMA et al., 2012).

ROCHA et al. (2009) crioconservando sementes de algodão constataram que os melhores resultados de qualidade fisiológica das duas cultivares estudadas foram obtidos aos 90 dias de crioconservação, tanto no vapor de nitrogênio (-170 °C) como na imersão em nitrogênio líquido (-196 °C).

Avaliando a qualidade fisiológica de sementes de algodão de duas cultivares BRS Verde e CNPA 7H, submetidas ao deslincamento químico e armazenadas por 12 meses, QUEIROGA (2009) concluiu de modo geral que a qualidade fisiológica da semente de algodão foi superior nas sementes deslincadas da cultivar BRS Verde ao longo do armazenamento.

2.6.2 Armazenamento criogênico

A conservação *ex situ* de germoplasma vegetal é essencial para a utilização continuada e sustentável destes recursos biológicos e é geralmente utilizada para proteger espécies em perigo de extinção ou deterioração. Neste tipo de conservação, um maior enfoque é dado para métodos que incluem o armazenamento de sementes em bancos de sementes, bancos de genes em campo, jardins botânicos e armazenamento de pólen (RAO, 2004).

As espécies vegetais vêm sendo conservadas *ex situ*, como plantas vivas mantidas em coleções de germoplasma a campo que, no entanto, apresentam uma série de problemas, como erosão genética das espécies e variedades, devido a pouca adaptação às condições ambientais desses locais, ataque de pragas e doenças, além de envolverem um grande custo financeiro e de mão-de-obra (KAVIANI, 2011). Para o armazenamento por um período reduzido, a conservação *in-vitro* do germoplasma vegetal tem se mostrado uma alternativa importante para a manutenção e conservação clonal. No entanto, o germoplasma mantido dessa forma continua vulnerável à contaminação microbiana, falha do equipamento, erro humano e os efeitos do tempo relacionados com mudanças epigenéticas e genotípicas. O armazenamento em bancos criogênicos de sementes é o método mais adequado de conservação em longo prazo dos recursos genéticos vegetais, isso envolve a dessecação de sementes para teores de água baixos e armazenamento em temperaturas baixas, o que se torna um benefício, pois além dos baixos custos de armazenagem, juntamente com a facilidade de distribuição de sementes e regeneração de plantas inteiras, oferece vantagens distintas quando comparado com o armazenamento de outros tipos de tecidos de plantas, tais como meristemas e pólen. Por isso, a crioconservação surge como um método que proporciona uma opção realista para armazenamento em longo prazo de recursos genéticos vegetais (LYNCH et al., 2007).

A crioconservação fornece a opção de uma cópia de segurança em longo prazo do germoplasma vegetal que de outra forma poderiam estar em risco (REED et al., 2005). Essa técnica de conservação baseia-se na remoção de toda a água congelável dos tecidos vegetais por desidratação osmótica ou física, seguidos por congelamento ultra-rápido. O material utilizado é armazenado a temperaturas ultra-baixas em nitrogênio líquido (-196 °C) ou em sua fase de vapor (-170 °C). A estas temperaturas as atividades de divisão

celular, metabólicas e bioquímicas permanecem suspensas e o material pode ser armazenado sem alterações e deterioração por tempo prolongado (WALTERS et al., 2009).

Para o sucesso de um procedimento criogênico, além da tolerância e da sensibilidade de germoplasma das plantas ao stress, muitos fatores estão envolvidos, como por exemplo, a fonte da planta matriz, a matéria-prima, as condições da cultura, as condições de pré-tratamentos, métodos de criopreservação, instalações criogênicas, e pós-descongelamento (THELAIDE & PETRI, 2003; REED et al., 2005).

As principais vantagens da criopreservação são a simplicidade do método, a aplicabilidade a uma vasta gama de genótipos, além de evitar alterações genéticas que podem ocorrer nas culturas ao longo do armazenamento, pois uma das principais preocupações é a estabilidade genética de material conservado (ENGELMANN, 2004).

Além da sua utilização para a conservação dos recursos genéticos, a criopreservação pode também ser aplicada para o armazenamento seguro de tecidos de plantas com características específicas (KACZMARCZYK et al., 2010). O Número de espécies que podem ser criopreservadas tem aumentado nos últimos anos devido às novas técnicas e avanços da pesquisa no campo da criogenia fazendo com que uma das principais preocupações desse método seja a estabilidade genética de material conservado.

GONÇALVES & ROMANO (2009), estudando a viabilidade da criopreservação de sementes de *Drosophyllum lusitanicum* como uma ferramenta para preservação de recursos genético, verificou que as sementes podem ser criopreservadas durante 4 meses sem perder a capacidade de germinação e concluiu que a criopreservação pode ser utilizada como estratégia complementar para o armazenamento a longo prazo de germoplasma desta espécie ameaçada.

Outros autores têm estudado a viabilidade de diversas sementes submetidas à criopreservação TRESENA et al. (2009) armazenaram sementes de ipê rosa em vapor de nitrogênio e nitrogênio líquido e concluíram que as sementes são criopreserváveis, pois os valores médios de germinação e o vigor mantiveram-se inalterados durante o período de 90 dias. ROCHA et al. (2009) criopreservando sementes de algodão constataram que os melhores resultados de qualidade fisiológica das duas cultivares estudadas foram obtidos aos 90 dias de criopreservação, tanto no vapor de nitrogênio (-170 °C) como na imersão em nitrogênio líquido (-196 °C); MOLINA et al. (2006) verificaram que as sementes de cebola mantiveram sua qualidade fisiológica quando submetidas a diferentes técnicas de criopreservação; WETZEL et al. (2003) afirmam que a criopreservação vem

comprovando sua eficiência na conservação a longo prazo para a maioria das espécies tolerantes à dessecação sugerindo ser uma forma de conservação da diversidade biológica.

GONZAGA et al. (2003) concluíram que sementes de baraúna, quando crioconservadas às temperaturas de -170 °C e -196 °C por um período de 25 dias armazenamento apresentam percentuais de germinação mais elevados do que os iniciais, indicando que durante este processo existe uma quebra de dormência dessas sementes pelo frio. LACERDA et al. (2002) crioarmazenando sementes de pau-ferro (*Caesalpinia ferrea* Mart.) por imersão em nitrogênio líquido à temperatura de -196 °C e comparando as alterações fisiológicas (germinação e vigor) dessa semente com técnicas de armazenagem convencionais por um período de tempo de 105 dias, concluíram que a germinação e o vigor das sementes de pau-ferro é preservada sob condições ambientais (médias de 23 °C e 73% de umidade relativa) e quando submetidas a crioconservação por 105 dias.

3- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. A. C.; MORAIS, A. M. de.; CARVALHO, J. M. F. C.; GOUVEIA, J. P. G. de Crioconservação de sementes de mamona das variedades nordestina e pernambucana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 6, n. 2, p.295-302, 2002.

ALMEIDA, F. DE A. C.; PITA VILLAMIL, J.M.; GOUVEIA, J.P.G. de. Efeito de la crioconservación sobre la germinación de semillas de leguminosas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.2, n.1, p.67- 71, 2000.

ANDRADE, E. T.; COUTO, A. M.; QUEIROZ, D. M.; PEIXOTO, A. B. Determinação de propriedades térmicas de grãos de milho. **Ciência e Agrotecnologia, Lavras**, v.28, n. 3, p. 488-498, 2004.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo e do Gás Natural 2013**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Rio de Janeiro: ANP, 2013.

ANUÁRIO BRASILEIRO DO ALGODÃO 2010. **Cenário do algodão**. Rio Grande do Sul, 2013. 136 p. Disponível em: < <http://www.anuarios.com.br>>. Acesso em: julho. 2013.

ARAUJO, M.S.O.de; DUARTE, M.E.D.; CAVALCANTI MATA, M.E.R.M. Cinética de congelamento de polpa de acerola a baixas temperaturas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. Campina Grande, v.2, n.1, p.27-34, 2000.

AZEVEDO, M. R. de Q. A.; GOUVEIA, J. P.G.de; TROVÃO, D.M. de M.; QUEIROGA, V. de P. Influência das embalagens e condições de armazenamento no vigor de sementes de gergelim. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p. 519-24, 2003.

BACHA, C. J. C. **Economia e política agrícola no Brasil**. São Paulo: Atlas, 2004.

BATISTA, R.C. **Cultivo *in vitro* e criopreservação de sementes de gergelim (*Sesamum indicum* L.)**. 2000. 83p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2000.

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

BELTRÃO, N. E. de M. et al. **Industrialização do Caroco de Algodão**. In: Freire, E. C. (Org.). Algodão no Cerrado do Brasil. 2. ed. Brasília. Abrapa, 2011.

BELTRÃO, N.E.de M.; AZEVEDO, D. M.P. de. **O agronegócio do algodão no Brasil**. 2. ed. rev. e ampl. Brasília, DF. Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 2 v. 1.309 p.

BENEDETTI, B.C. **Influência do teor de umidade sobre propriedades físicas de vários grãos**. 1987. 125f . Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BRAGANTINI, C. **Alguns aspectos do armazenamento de sementes e grãos de feijão**. Documento 187, Embrapa Arroz e Feijão, 2005. 28p.

BUAINAIN, M.; BATALHA, M. O. **Cadeia produtiva do algodão**. Brasília. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Iica, 2007. (Mapa. Série agronegócios, v. 4).

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

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

CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. Tecnologia de crioconservação de sementes de urucum. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**. João Pessoa, PB, v.2, n.1, p.1-9, 2008.

CHIAVEGATO, E.J.; SALVATIERRA, D.K.; GOTTARDO, L. C.B. Algodão. In: MONTEIRO, J.E.B.A. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília. Ministerio da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – Instituto Nacional de Meteorologia, 2009. cap.1, p. 35-49.

COELHO, R. R. P. **Aspectos da crio-preservação de sementes de duas cultivares de algodão colorido (*Gossypium hirsutum* L. raça *latifolium* Hutch.)**. 2006. 89 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2006.

COLLA, L. M.; PRENTICE-HERNÁNDEZ, C. Congelamento e descongelamento: a sua influência sobre alimentos. **Vetor**. v. 13, p. 53-66, 2003.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: < <http://www.conab.gov.br/detalhe.php?c=5031&t=2#this> >. Acesso em: julho. 2013.

COOLBEAR, P. **Mechanisms of Seed Deterioration**. In: Basra, A. S (Ed.), Seed quality: basic mechanisms and agricultural implications. Food Products Press. 1995, p. 223-269.

COSTA, C.J. **Armazenamento e conservação de sementes de espécies do cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrado, 2009. 30p. (EMBRAPA CERRADO. Documento, 265).

CUNHA, R. da. Métodos alternativos para conservação de germoplasma-semente. In: Puignau, J. P. (Ed.) **Conservación de germoplasma vegetal**. Montevideo: IICA, 1996. p. 123-128. (Dialogo, 45).

DELOUCHE, J. C.; POTTS, H. C. **Programa de sementes: planejamento e implantação**. Brasília. Ministério da Agricultura, AGIPLAN, 1974. 124p.

DINIZ, P.S.C. **Qualidade fisiológica das sementes de milho (*Zea mays* L.) submetidas a diferentes técnicas de criopreservação.** 1999. 80f Dissertação (Mestrado), Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1999.

DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M., ALMEIDA, F. de A. C. Características físicas das sementes. DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M., ALMEIDA, F. de A. C. **Tecnologia de armazenagem de sementes.** Campina Grande, 2006. cap.5, p. 191 – 297.

ENGELMANN, F. Plant cryopreservation: progress and prospects. **In vitro Cellular and Developmental Biology – Plant.** v. 40, p.427-433, 2004.

ESPINDOLA, L. F. **Determinação do teor de água ideal para o armazenamento de sementes de quatro espécies arbóreas ameaçadas da flora brasileira.** 2007. 68 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Escola Nacional de Botânica Tropical, do Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2007.

FANTINATTI, J.B.; USBERTI, R.; BROD, F.P.R. Isotermas de sorção de sementes de *Eucalyptus grandis* e *Pinus taeda*. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 27, n. 2, p. 6-11, 2005.

FAO. **Ex situ storage of seeds, pollen and in vitro cultures of perennial woody plant species.** Rome: FAO, 1993. 83p. (FAO Forestry Paper, n.113).

FERREIRA FILHO, J.B.S.; ALVES, L.R.A.; GOTTARDO, L.C.B. **Aspectos Econômicos do Algodão no Cerrado: Ajustes Estruturais e Consolidação.** In: Freire, E. C. Algodão no Cerrado do Brasil. 2. ed. Brasília. Abrapa, 2011.

FREIRE, E. C. MORELLO, C. L; FARIAS, F. J. C. **Melhoramento do algodoeiro e cultivares obtidas para o cerrado.** IN: Freire, E. C. Algodão no Cerrado. 2ª. Ed. rev. e ampl. Brasília: Abrapa, 2011.

FREITAS, S. M.; MARGARIDO, M. A.; NEGRI NETO, A. **Modelo de previsão para área plantada com amendoim das águas no estado de São Paulo**. Informações Econômicas, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 21-27, fev. 2003.

GAMA, J.S.N.; BRUNO, R.L.A.; SILVA, K.R.G.; RÊGO, E.R.; PEREIRA FILHO, T.B.; BARBOSA, R.C.; BEZERRA, A.K.D. Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de erva-doce (*Foeniculum vulgare* Mill.) armazenadas. **Rev. Bras. Pl. Med.** Botucatu. v.14, n.esp., p.175-182, 2012.

GARCIA-LORCA, D. R.; CARNERO ORTEGA, J. M. **El algodón**. Madrid: Mundi-Prensa, 1991. 242p.

GOLDFARB, M. **Crioconservação e sanidade de sementes de pinhão manso (*Jatropha curcas*)** 2008. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Departamento de Eng. Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

GOLDFARB, M.; CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M. ; BRAGA, M. E. D. Teor de água limite para crioconservação de sementes de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 121-129, 2010

GONÇALVES, S.; ROMANO, A. Cryopreservation of seeds from the endangered insectivorous plant *Drosophyllum lusitanicum* . **Seed Science and Technology**. v. 37, n. 2, p.485-490, 2009.

GONZAGA, T.W.C.; CAVALCANTI MATA, M.E.R.M.; SILVA, H.; DUARTE, M.E.M. Crioconservação de sementes de aroeira (*Astronium urundeuva* Engl.), e baraúna (*Schinopsis brasiliensis* Engl.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.5, n.2, p.145-154, 2003.

GONZALEZ-BENITO, M.E.; MARTIN, C.; IRIONDO, J.M. Conservation of the rare and endangered plants endemic to Spain. In: BENSON, E.E. ed. **Plant Conservation Biotechnology**. London. Taylor and Francis Ltd. p.251-264, 1999.

GRUDA, Z.; POSTOLSKI, J. **Tecnología de la congelacion de los alimentos**. Zaragoza, España. Acribia, 1996, 631p.

GUPTA, R. K.; DAS, S. K. Physical properties of sunflower seeds. **Journal Agricultural Engineering Research**, v.66, p.1-8, 1997.

GUSTAFSON, J.R.; HALL, G.E. Density and porosity changes of shelled corn during drying. **Transaction of the ASAE**. St. Joseph, Michigan. v. 15, n. 3, p. 523-525, 1972.

HARRINGTON, J. **Drying, storage and packaging: present status and future needs**. In: Short course for seedsmen, 1971, Mississippi State. Proceedings... Mississippi State, p.133- 139.1971.

KACZMARCZYK, A., HOUBEN, A., KELLER, E.R.J. & METTE, M.F. Influence of cryopreservation on the cytosine methylation state of potato genomic DNA. **CryoLetters** v. 31, p. 380-391, 2010.

KASAHARA, I.; GARRIDO, F.; SIMPSON, R.; ALDUNATE, M.I.; CORNEJO, F. **Refrigeracion y congelacion de alimentos**. Chile. Universidad Catolica de Valparaiso, 1986. cap. 4, p.81-110.

KAVIANI, B. Conservation of plant genetic resources by cryopreservation. **Australian Journal of Crop Science**. v.5, p. 778, 2011.

KAZARIAN, E. A.; HALL, C. W. Thermal properties of grain. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 8, n. 1, p. 33-37, 1965.

KOBORI, N.N. **Tratamento fungicida e qualidade de sementes de mamona**. 2011. 102f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2011.

LACERDA, S.N.B.; CAVALCANTI MATA, M.E.R.M.; BRAGA, M.E.D.; SILVA, F. de A.S. e. Estudo comparativo da crioarmazenagem de semente de pau-ferro (*Caesalpinia*

ferrea mart.) com as técnicas convencionais de armazenagem. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.1, p.7-14, 2002.

LANG, W.; SOKHANSANJ, S. Bulk volume shrinkage during drying of wheat and canola. **Journal of Food Process Engineering**, Trumbull, v. 16, n. 4, p. 305-314, 1993.

LYNCH P.T., BENSON E.E.; HARDING K. Climate change: the role of *ex situ* and cryoconservation in the future security of economically important, vegetatively propagated plants. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**. n. 82, p. 157 – 160, 2007.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 1ed, Piracicaba:FEALQ, 2005. 495 p.

MARCOS FILHO, J. New approaches to seed vigor testing. **Scientia Agricola** (número especial), São Paulo, p. 27-33. 1998.

MARTINS, R.; PEREZ, L. H. **Amendoim: inovação tecnológica e substituição de importações**. Informações Econômicas. São Paulo, v. 36, n. 12, p. 7-19, 2006.

MEDEIROS, A.C.S.; EIRA, M.T.S. **Comportamento Fisiológico, Secagem e Armazenamento de Sementes Florestais Nativas**. Colombo-PR: Embrapa Florestas, 2006. (EMBRAPA FLORESTAS, Circular técnica,127)

MELO, F. L. **Elementos climáticos e a evolução da ramulose (*Colletotrichum gossypii* var *Cephalosporioides* Costa) do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L. var. *latifolium* Hutch.) em condições de campo**. 2004. 75p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

MOLINA, T. F.; TILLMANN, M.A.A.; DODE, L.B.; VIÉGAS, J. Crioconservação em sementes de cebola. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n.3, p.72-81, 2006.

- MOHSENIN N N. **Thermal Properties of Foods and Agricultural Materials**. Gordon and Breach, New York, 1980.
- MORAES, A. M. de. **Cultivo *in vitro* e criarmazenagem de sementes de mamona (*Ricinus communis* L.)**. 2001. 95f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2001.
- MOURA, S. C. S. R.; GERMER, S. P. M.; JARDIM, D. C. P.; SADAHIRA, M. S. Thermophysical properties of tropical fruit juices. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 1, n. 1/2, p. 70-76, 1998.
- MUIR, W.E.; CHANDRA, S. **Thermal conductivity of spring wheat at low temperatures**. Transactions of the ASAE, St. Joseph, n.70, p.805, 1970.
- NEVES FILHO, L. de C. **Resfriamento, congelamento e estocagem de alimentos**. São Paulo: Instituto Brasileiro do Frio, 1991. 165 p.
- OLIVEIRA, J. R.; MATA, M. E. R. C.; DUARTE, M. E. M. Isotermas de desorção de grãos de feijão macassar verde (*Vigna unguiculata* L. Walpers), variedade sempreverde. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.6, n.1, p.61-70, 2004.
- OZARSLAN, C. Physical properties of cotton seed. **Biosystems Engineering**, [S.l.], v. 83, n. 2, p. 169-174, 2002.
- PAKSOY, M.; AYDIN, C. Some physical properties of edible squash (*Cucurbita pepo* L.) seeds. **Journal of Food Engineering**, London, v. 65, p. 225-231, 2004.
- PAVANI, O. D. Grãos, estudo da armazenagem e do manuseio. **Óleos e Grãos**. p.31-37, 1992.

PEREDA, J. A. O.; RODRIGUESZ, L. F.; SANZ, M. L. G.; MINGUILLÓN, G. D. G. F.; PERALES, L. de La H.; CORTECERO, M. D. S. **Tecnologia de alimentos: componentes dos alimentos e processos**. Porto Alegre: Artmed, v. 1, 2005. 294p.

PRITCHARD, H. Classification of seed storage 'types' for ex situ conservation in relation to temperature moisture. In: GUERRANT, Jr., E.O.; HAVENS, K.; MAUNDER, M. (Ed). **Ex situ plant conservation: supporting species survival in the wild**. Washington: Island Press, 2004. P. 139-161

POPINIGIS, F. **Fisiologia de sementes**. 2^a ed. Brasília, s. e. 289p. 1985.

PUZZI, D. **Abastecimento e armazenagem de grãos**. 2. ed. Campinas: Inst. Campineiro de Ensino Agrícola. 1986, 603 p.

QUEIROGA, V. de P.; CASTRO, L. B. de Q.; GOMES, J. P.; SILVA, A. L. da ; ALVES, N.M. C.; ARAUJO, D. R. de. Qualidade fisiológica de sementes de algodão armazenadas em função de diferentes tratamentos e cultivares. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.11, n.1, p.43-54, 2009.

RAHMAN, S. **Food Properties Handboool**, New York: CRC Press, 500p. 1995.

RAO, N. K. Plant genetic resources: Advancing conservation and use through biotechnology. **African Journal Biotechnology**. v.3, n.2, p.136-145. 2004.

REED. B.M.; ENGELMANN, F.; DULLOO. E.; ENGELS. J. **Technical Guidelines for the Management of Field and in Vitro Germoplasm Collections**, IPGRI/FAOISGRP. Rome, Italy, p. 95, 2005.

REID, D. S. Fundamental Physicochemical Aspects og Freezing. **Foods Technology**. v.37, n. 40, p.110-115, 1983.

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

RIBEIRO, D. M.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; BOTELHO, F. M. Propriedades térmicas de grãos de trigo: determinação e modelagem. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, v. 31, n. 2, p. 462-467, mar./abr., 2007.

ROBERTS, E.H. Predicting the storage life of seeds. ***Seed Science and Technology***. v.1, p.499-514, 1973.

ROCHA, M. do S.; BELTRÃO, N.E. de M.; OLIVEIRA, M.I.P. de; ALMEIDA, F.de A. C.; BRUNO, R. de L. A.; CARVALHO, J.M.F.C. **Crioconservação de sementes algodão de duas cultivar a BRS-RUBI e a BRS-SAFIRA. In: VII Congresso Brasileiro do Algodão, 2009, Foz do Iguaçu. Sustentabilidade da cotonicultura Brasileira e Expansão dos Mercados: Anais...** Campina grande: Embrapa Algodão, p. 228-233, 2009.

ROSSI, S.J.; ROA, G. **Secagem e armazenamento de produtos agropecuários com uso de energia solar e ar natural.** São Paulo: ACIESP, 1980. 295p.

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***, Campina Grande, v. 3, n. 1, p. 45-48, 1999.

SANTOS, I. R. I. Criopreservação: potencial e perspectivas para a conservação de germoplasma vegetal. ***Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal***, v.12, p.70-84, 2000.

SANTOS, R. C. dos; FREIRE, R. M. M., LIMA; L. M. de. **O agronegócio do amendoim no Brasil**, editoras técnicas. – 2. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 585 p. 2013.

SENA, C.M. **Sementes Florestais: colheita, beneficiamento e armazenamento.** Unidade de Apoio do PNF no Nordeste. Natal: MMA, 2008. 28p. (Guias Técnicos, 2).

SHARMA, D. K.; THOMPSON, T. L. Specific heat and thermal conductivity of sorghum. ***Transactions of the ASAE***, Saint Joseph, v. 16, n. 1, p. 114-117, 1973.

SILVA, J.S.; CORRÊA, P.C. Estrutura, composição e propriedades dos grãos. In: SILVA, J.S. Secagem e Armazenamento de produtos agrícolas. Juiz de Fora: Instituto Maria, 2000. p.21-37

SILVA, R.C.; CAMILLO J, LUIS, Z.G.; SCHERWINSKI-PEREIRA, J.E. Germinative potential and leaf morphoanatomy of physic nut seedlings from cryopreserved germplasm. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** n.46, v.8, p.836-844, 2011.

SILVA, K. B.; MATA, M. F.; BRUNO, R. L. A. Tratamentos pré-germinativos para superação da dormência de sementes de *Sterculia striata* A. St. Hil. Naldin. Revista Semina: Ciências Agrárias, Londrina-PR, v.33, n.3, p.857-866, maio-jun/2012

SOUZA, L.C.D. de; YAMASHITA, O.M.; CARVALHO, M.A.C. de. Qualidade de sementes de arroz utilizadas no norte de Mato Grosso. **Revista brasileira de Sementes. Londrina.** v.29, n.2, 2007.

STANWOOD, P.C.; ROSS, E.E. Seed storage of several horticultural species in liquid nitrogen (-196 °C). **Hort Science**, v.14, p.26-31. 1979

SUBRAMANIAN, S.; VISWANATHAN, R. Thermal properties of minor millet grains and flours. **Biosystems Engineering**, [S.l.], v. 84, n. 3, p. 289-296, 2003.

THELAIDE, I.;PETRI, L.Conservation of tropical trees ex situ through storage and use. **Guidelines and Technical Notes.** N.65. Danida Forest Seed Centre, Humlebach, Denmark, 2003.

TORRES, S.B. Influência do tamanho das sementes de *Acacia gomifera* no desenvolvimento das mudas.**Agropecuária Catarinense**, v.7, n.2, p.5, 1994.

TOUCHELL, D. H.; DIXON, K. W. Cryopreservation of seenbanking of Australian species. **Annals of Botany**, v.74, p. 541-546, 1994.

TRESENA, N. de L., CAVALCANTI MATA, M.E.R.M., DUARTE, M.E. M., MORAES, A. M. de, DIAS, V. S. Qualidade fisiológica da semente de ipê rosa (*Tabebuia heptahylla* (vellozo) toledo) submetidas à criopreservação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.11, n.1, p.87-93, 2009.

TRESENA, N.de L.; CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E.M.; MORAES, A. M. de. Determinação do teor de água limite para criopreservação das 171 sementes de ipê amarelo (*Tabebuia chrysotrica* (Mart. Ex. DC.) Standl.) **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 2, p. 171-175, abr./jun. 2010.

VIEIRA, R.D., CARVALHO, N.M. de. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 164p. 1994.

VILLELA, F.A.; PERES, W.B. **Coleta, beneficiamento e armazenamento**. In: FERREIRA, A.G.; BORGHETTI, F. (Ed.). *Germinação: do básico ao aplicado*. Porto Alegre: Artmed, 2004. p.149-162.

WALTERS C, VOLK, G.M.; TOWILL, L.E.; FORSLINE, P. **Survival of cryogenically-stored dormant apple buds: a 20 year assessment**. Symposium on Cryopreservation in Horticultural Species, Leuven, Belgium, p.5-9, 2009.

WETZEL, M.M.V.S; REIS, R.B.; RAMOS, K.M. Metodologia para criopreservação de sementes de espécies florestais nativas. **Circular Técnica**, Brasília, n.26, p. 1-5, set. 2003.

CAPÍTULO I –

**EFEITO DO TEOR DE ÁGUA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE SEMENTES
DE ALGODÃO TOPÁZIO E AMENDOIM HAVANA**

EFEITO DO TEOR DE ÁGUA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE SEMENTES DE ALGODÃO TOPÁZIO E AMENDOIM HAVANA

I-RESUMO

O armazenamento, manuseio, processamento e outras operações pós-colheita de produtos agrícolas exigem informações sobre as propriedades físicas das sementes e elas são influenciadas pelo teor de água. O estudo realizado neste capítulo avalia o efeito da variação do teor de água em algumas propriedades físicas para as sementes de algodão Topázio e amendoim Havana como: tamanho, volume (V), massa específica real (ρ_r) e aparente (ρ_a), porosidade (ε), calor específico (C_p), condutividade térmica (k) e difusividade térmica (α) nas sementes com teores de água de 4, 8, 12, 16 e 20% b.u. . Para a determinação do volume e da massa específica real das sementes foram realizadas pesagens seguindo o método da medida de massa de água deslocada, a massa específica aparente foi calculada pela relação entre a massa das sementes e o volume ocupado por estas sementes (volume do recipiente). Através da relação entre a massa específica aparente e a massa específica real calculou-se a porosidade. A esfericidade e o volume foram obtidos por meio da medição dos três eixos ortogonais. O calor específico foi determinado através do método das misturas e a condutividade e a difusividade através de equações conhecendo-se o calor específico. Com os resultados obtidos nesta pesquisa conclui-se que o comprimento, a largura e a espessura das sementes de algodão e amendoim aumentam com o acréscimo do teor de água; o modelo exponencial representa satisfatoriamente as propriedades físicas das sementes de algodão e amendoim; com a elevação do teor de água, a massa específica real, massa específica aparente e a porosidade sofreram redução de suas medidas; o calor específico, difusividade térmica e a condutividade aumentaram com o aumento do teor de água e o modelo linear representa satisfatoriamente as propriedades termofísicas das sementes de algodão e amendoim.

Palavras-chave: sementes, teor de água, massa específica, porosidade

**EFFECT OF MOISTURE IN PHYSICAL PROPERTIES OF COTTON SEEDS
TOPAZIO AND PEANUT HAVANA**

I-ABSTRACT

The storage, handling, processing and other operations for post-harvest agricultural products require information about the physical properties of the seed and they are influenced by the water content. The study in this section evaluates the effect of varying water content on some physical properties to cotton seeds and peanuts Br, Topaz-1 as size, volume, true density, bulk density, porosity, specific heat ends conductivity and diffusivity thermal on seeds with moisture contents of 4, 8, 12, 16 and 20% wb . For determining the volume and the true density of the seeds was performed according to the method of weighing measured mass of water displaced, the bulk density gravity was calculated as the ratio between the seed mass and the volume occupied by the seed (Volume of container .) Through the relationship between the apparent specific gravity and true specific gravity was calculated porosity. The sphericity and volume was obtained by measuring the three orthogonal axes. The specific heat was determined through the method of the mixtures and the conductivity and diffusivity equation by knowing the specific heat. It was concluded that there was a variation in seed physical properties studied in relation to water content.

Keywords: seeds, water content, density, porosity

I.1- INTRODUÇÃO

No semi-árido nordestino, a cultura do algodão foi, e continua sendo, uma das principais atividades de grande importância socioeconômica da região, seja na oferta de matéria-prima para a indústria têxtil e oleaginosa, seja na geração de emprego e renda (BELTRÃO & AZEVEDO, 2008). De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento – Conab- na safra 2011/2012 o Brasil produziu 3.018 milhões de toneladas de algodão (CONAB, 2013). Em relação ao amendoim, outra oleaginosa de grande importância econômica, sabe-se que, até o início dos anos 70, o Brasil foi importante produtor dessa cultivar, ocupando papel expressivo tanto no suprimento interno de óleo vegetal quanto na exportação de subprodutos (FREITAS, 2009). Nos últimos anos, no Brasil, ocorreu grande expansão da área cultivada, produção e, principalmente, aumentos consistentes em produtividade, alcançando na safra de 2011/2012, 294 mil toneladas de amendoim (CONAB, 2013). Na região nordeste, os principais estados produtores são Bahia, Sergipe, Ceará e Paraíba.

A grande importância dessas culturas para os centros industriais e de consumo reside no fato de suas sementes serem passíveis de transformação, originando principalmente produtos de aproveitamento econômico e alimentar, contudo, o conhecimento das características físicas das sementes é de grande utilidade, haja vista a necessidade de se armazenar sementes de forma a prevenir a erosão genética e garantir melhoramento da produtividade agrícola.

As características físicas das sementes têm valores específicos para as condições que são obtidas e para cada espécie de semente. De modo geral, as sementes possuem particularidades, espécies-específicas, que restringem a utilização de suas características físicas sob condições diferentes daquelas para as quais foram determinadas (GAMA, 2011). Grande parte das pesquisas referentes ao beneficiamento e conservação de sementes, leva em consideração características como: tamanho, forma, porosidade e outras, que estão intimamente ligadas ao teor de água da semente, que por sua vez depende das condições do ambiente e de sua composição química. Algumas dessas características, ainda, são parâmetros utilizados para determinar as condições de armazenamento e dimensionamento dos bancos, possibilitando a avaliação de perdas de qualidade do material durante o armazenamento (DIAS, 2001).

Portanto, o conhecimento das características físicas dos produtos vegetais é de suma importância para prever e/ou simular o comportamento de grãos e a quantidade de energia requerida quando são submetidos a diferentes condições de secagem, aquecimento ou resfriamento (RIBEIRO et al., 2007).

I.2- MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Processamento e Armazenamento de produtos agrícolas da Universidade Federal de Campina Grande, Pb.

I.2.1 Característica do material

Foram utilizadas sementes de algodão, variedade Topázio, e amendoim variedade Havana ambas adquiridas na Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária – EMBRAPA – Algodão.

Para a realização do trabalho foi necessário à determinação do teor de água inicial pelo método padrão da estufa a $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$, utilizou-se quatro sub-amostras de 10g de sementes obtidas da amostra média. As sementes foram pesadas e acondicionadas em recipientes metálicos (cadinhos) e colocadas em estufa, onde permaneceram durante 24h. Depois de retirados os recipientes da estufa, os mesmos foram tampados e esfriados em dessecador durante 15 minutos e submetidas à nova pesagem. A percentagem do teor de água foi calculada com base no peso da água segundo as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1982). Equação I.1.

$$X(\%b.u) = \frac{P_i - P_f}{P_i} 100 \quad (\text{I.1})$$

em que,

P_i = peso inicial da amostra (gramas);

P_f = peso final da amostra (gramas);

$X \% (b.u)$.= teor de água, base úmida.

Após a determinação do teor de água inicial, as sementes foram submetidas ao processo de hidratação e/ou secagem até estas alcançarem os teores de água de 4, 8, 12, 16 e 20% b.u. estabelecidos para a determinação das diferentes propriedades físicas. A perda ou ganho de água pelas sementes foi determinado conforme recomendado por ALMEIDA et.al (1997), por meio da Equação I.2

$$Pf = Pi \frac{100 - Xi}{100 - Xf} \quad (I.2)$$

em que,

Pf = peso final da mostra (grama);

Pi = peso inicial da amostra (grama);

Xi = teor de água inicial das sementes (%b.u.);

Xf = Teor de água desejada das sementes (%b.u).

I.2.2 Secagem das sementes

Para realizar a secagem, as sementes com teor de água conhecido foram colocadas em um secador ajustado para a temperatura de 40 °C e pesadas a cada 1 hora, até que atingissem os pesos referentes aos teores de água desejados, para este fim foi utilizada uma balança eletrônica, com precisão de 0,01g.

I.2.3 Umedecimento das sementes

Para o umedecimento das sementes, amostras foram colocadas em cestas confeccionadas em tela de arame com suportes para suspendê-las e colocadas no interior de bandejas plásticas contendo água no seu interior e envolvidas com sacos plásticos de modo a ficarem hermeticamente fechadas. Posteriormente foram colocadas em geladeira regulada a 10 °C. As cestas com as amostras foram pesadas a cada uma hora, utilizando-se uma balança eletrônica, com precisão de 0,01g até atingir os pesos referentes aos teores de umidade desejados, determinados conforme Equação I.2.

I.2.4 Propriedades físicas das sementes

A caracterização física das sementes de algodão e amendoim foi realizada no Laboratório de Propriedades Físicas do curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG.

Nesta pesquisa foram utilizadas sementes com teor de água de 4, 8, 12, 16 e 20% (b.u.) que foram analisadas quanto às seguintes propriedades físicas:

- massa de mil sementes (com 6 repetições);
- tamanho das três maiores dimensões da semente em direções mutuamente perpendiculares (20 repetições);
- volume (20 repetições);
- massa específica real (20 repetições);
- esfericidade (20 repetições);
- massa específica aparente (6 repetições);
- porosidade (20 repetições);
- calor específico (3 repetições);
- condutividade e difusividade térmica (3 repetições).

I.2.4.1 Massa de mil sementes

Esta determinação foi feita por pesagem de porção de 1000 unidades da semente, previamente selecionada, diretamente em balança semi-analítica.

I.2.4.2 Tamanho das 3 maiores dimensões mutuamente perpendiculares

Mediram-se as três dimensões de uma amostra, contendo 20 sementes de cada variedade estudada. O tamanho das sementes foi determinado medindo-se as dimensões do comprimento (a), da largura (b) e da espessura (c) de cada semente, conforme Figura I.1. Com o auxílio de um paquímetro, com resolução de 0,01 mm.

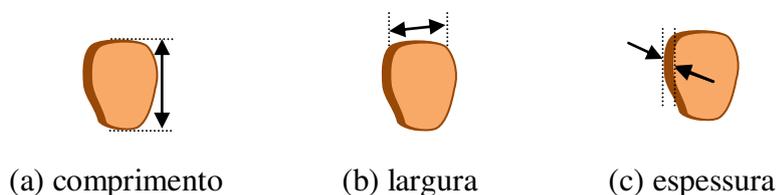


FIGURA I.1. Medições das sementes correspondentes ao comprimento (a), a largura (b) e espessura (c).

I.2.4.3 Volume

O volume foi determinado pelo método de deslocamento de massa de água, como descrito por MOSHENIN (1978). Neste método, foram feitas 3 pesagens. A primeira pesagem foi a massa de uma semente, como pode ser visto na Figura I.2 (a). A segunda pesagem é a massa de um recipiente que contém água, Figura I.2 (b). Por fim, sustentada por uma haste, a semente é forçada para dentro do recipiente com água, até sua total submersão, sem, no entanto, tocar as superfícies do recipiente, neste momento, é feita a terceira pesagem, Figura I.2 (c).

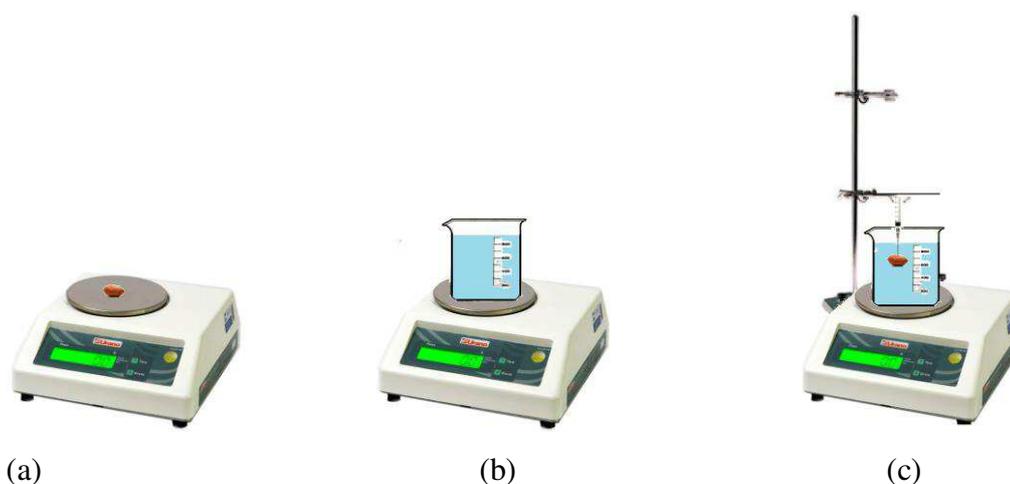


FIGURA I.2. Determinação do volume das sementes pelo método do deslocamento de água.

O volume individual das sementes foi determinado pelo método da medida de massa de água deslocada, em balança analítica, utilizando-se a Equação I.3 (DUARTE et al., 2006).

$$V = \frac{m_a}{\rho_a} \quad (I.3)$$

Em que,

V = volume, cm^3 ;

m_a = massa de água deslocada, g;

ρ_a = massa específica da água, g.cm^{-3} .

I.2.4.4 Massa específica real ou unitária

Conhecendo-se o volume, segundo metodologia descrita no Item 2.2.3, a massa específica real foi obtida diretamente pela Equação (I.4):

$$\rho_{\text{real}} = \frac{m_s}{V} \quad (\text{I.4})$$

Em que,

ρ_{real} = massa específica real, g.cm⁻³;

m_s = massa da semente, g;

V = volume da semente, cm³.

I.2.4.5 Esfericidade

A esfericidade da semente foi determinada baseando-se na média geométrica dos três eixos perpendiculares ao corpo em relação ao maior eixo, conforme Equação I.5.

$$\phi = \frac{(abc)^{1/3}}{a} 100 \quad (\text{I.5})$$

em que,

ϕ = esfericidade, %

a, b e c = a maior, a média e a menor dimensão da semente, respectivamente, mm.

I.2.4.6 Massa específica aparente

Para a determinação da massa específica aparente foi utilizada uma balança de peso hectolítrico. A massa específica aparente foi calculada pela simples relação entre a massa das sementes e o volume ocupado por estas sementes (volume do recipiente). A relação utilizada para este cálculo foi (Equação I.6):

$$\rho_a = \frac{m}{V_a} \quad (I.6)$$

Em que,

ρ_a = massa específica aparente, g.cm⁻³

m = massa da semente, g;

V_a = volume do recipiente, cm³.

1.2.4.7 Porosidade

Foi determinada conforme Equação (I.7)

$$\varepsilon = \frac{\rho_r - \rho_a}{\rho_r} \times 100(\%) \quad \varepsilon = \frac{\rho_r - \rho_a}{\rho_r} 100 (\%) \quad (I.7)$$

em que,

ε = porosidade, %

ρ_r = Massa específica real

ρ_a = Massa específica aparente ou unitária

1.2.4.8 Calor específico pelo método da Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

A técnica da Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC - Differential Scanning Calorimetry) mede a diferença de energia liberada ou fornecida entre a amostra e um material de referência (termicamente inerte), em função da temperatura, enquanto a amostra e a referência são mantidas a um ciclo térmico programado (CONCEIÇÃO, 2000).

Através dessa técnica, as mudanças de energia ocorridas na amostra, em relação à referência, acontecem devido às transições endotérmicas ou exotérmicas.

Quando um material sofre algum tipo de mudança de estado físico ou quando sofre reação química, ocorre liberação ou absorção de calor. O DSC mede as variações de energia térmica para manter em equilíbrio as temperaturas da amostra e do material de referência, durante o evento térmico. Essas mudanças de energia em relação à referência, como citada anteriormente, ocorrem devido à transições endotérmicas ou exotérmicas,

como as causadas por mudanças de fase, fusão, inversão da estrutura cristalina, ebulição, sublimação e vaporização, ou reações como: desidratação, decomposição e gelatinização. De maneira geral, as transições de fase, desidratação e algumas reações de decomposição produzem efeitos endotérmicos, enquanto a cristalização, oxidação produzem efeitos exotérmicos.

I.2.4.9 Difusividade térmica)

Para as medidas da difusividade térmica das sementes foi utilizado um analisador de propriedades térmicas (Decagon Inc., modelo KD2). Para tal, foi utilizada uma célula de vidro encamisada acoplada a um banho termostático para controle da temperatura. As leituras foram feitas em triplicata, no intervalo de temperatura de 20 a 70 °C.

O princípio de funcionamento da sonda KD2 baseia-se na metodologia de fio quente, em que os valores de α (difusividade térmica) é obtido através da solução da Equação de condução de calor em coordenadas cilíndricas em um meio homogêneo (Equação I.8) (FONTANA et al., 2001)

$$\frac{dT}{dt} = \alpha \left(\frac{d^2T}{dr^2} + r^{-1} \frac{dT}{dr} \right) \quad (\text{I.8})$$

Em que:

T = temperatura (°C);

t = tempo (s);

α = difusividade térmica (m^2s^{-1}); e

r = distância em metros (m)

I.2.4.10 Condutividade térmica

A condutividade térmica foi determinada pela Equação I.9, obtida do conhecimento das outras três propriedades termofísicas.

$$k = \frac{\alpha}{\rho \cdot c_p} \quad (I.9)$$

em que,

k = condutividade térmica, $W \cdot m^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$

α = difusividade térmica, $m^2 \cdot s^{-1}$

ρ = massa específica, $kg \cdot m^{-3}$

c_p = calor específico, $kJ \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$

Os dados experimentais das propriedades físicas das sementes foram submetidos à análise de regressão.

I.3- RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios das três dimensões altura (a), largura (b) e espessura (c) das sementes de algodão e amendoim para cada teor de água estudado estão expostos na Tabela I.1.

TABELA I.1 Médias das três dimensões, a, b e c altura, largura e espessura, respectivamente, das sementes de algodão e amendoim em milímetros (mm).

Teor de água (%)	Algodão			Amendoim		
	a	b	c	a	b	c
4	8,65±0,4	4,27±0,3	3,66±0,3	12,37±1,0	7,91±0,5	6,82±0,2
8	8,59±0,4	4,36±0,2	3,82±0,3	12,69±0,7	7,93±0,5	7,33±0,3
12	8,55±0,4	4,28±0,3	3,68±0,3	12,28±1,0	8,31±0,5	7,43±0,6
16	8,74±0,4	4,37±0,3	3,89±0,2	12,32±0,6	8,55±0,2	7,88±0,5
20	8,96±0,4	4,60±0,4	4,02±0,3	12,65±1,1	9,17±0,6	8,18±0,6

Observando os dados da Tabela I.1, verifica-se uma variação no valor do comprimento (a) largura (b) e espessura (c) das sementes, porém comparando os valores de 4 e 20% nota-se um aumento dessas três medidas de 3,58, 7,72 e 9,83% para sementes de algodão e de 2,26, 15,92 e 14,94% para sementes de amendoim, respectivamente. Esse aumento se deve ao processo de umedecimento das sementes, no qual ocorre a expansão das mesmas.

Resultados semelhantes foram encontrados por OLIVEIRA NETO et al. (2010) que estudando as propriedades físicas de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris*L.) variedade “emgopa 201 -Ouro” verificaram que as três dimensões (a,b e c) reduziram proporcionalmente com a diminuição do teor de água, confirmando os valores obtidos nesse trabalho.

A massa de mil sementes aumentou de 67,86g para 85,91g para as sementes de algodão e de 354,57g para 423,46g para as de amendoim com a elevação do teor de água de 4 para 20% b.u. Essa diferença no teor de água provocou um aumento de aproximadamente 26% na massa de mil semente para as sementes de algodão e de 19,4% para as sementes de amendoim (Tabela I.2). A massa de mil sementes é um dado

importando, pois nos fornece um indicativo de qualidade das sementes, bem como pode gerar informações para calcular a densidade de semeadura. O ganho na massa de mil sementes esta representado graficamente nas Figuras I.3 e I.4 para as sementes de algodão e amendoim, respectivamente podendo ser representado usando a equação exponencial expressa no gráfico.

Comportamento semelhante foi encontrado por ÜNAL et al. (2013) ao estudarem as propriedades físicas de sementes de abóbora, verificaram que a massa de mil sementes aumentou 188,7-262,0 g ($p < 0,01$) com a variação de teor de água de 9,3-32,1% b.s. Semelhante tendências foram relatadas por ALTUNTAS & DERMITOLA (2007) para sementes de feijão e ervilha, TARIGHI et al. (2010) para sementes de cártamo e WANG et al. (2007) para sementes de linnhaça.

TABELA I.2 Médias da massa de mil sementes para as sementes de algodão e amendoim em função do teor de água.

Teor de água (%b.u)	Massa de mil Sementes (g)	
	Algodão Média	Amendoim Média
4	79,54±0,15	354,57±0,33
8	81,55±0,08	379,39±0,28
12	85,59±0,17	399,45±0,32
16	90,27±0,05	411,35±0,29
20	100,22±0,02	423,46±0,39

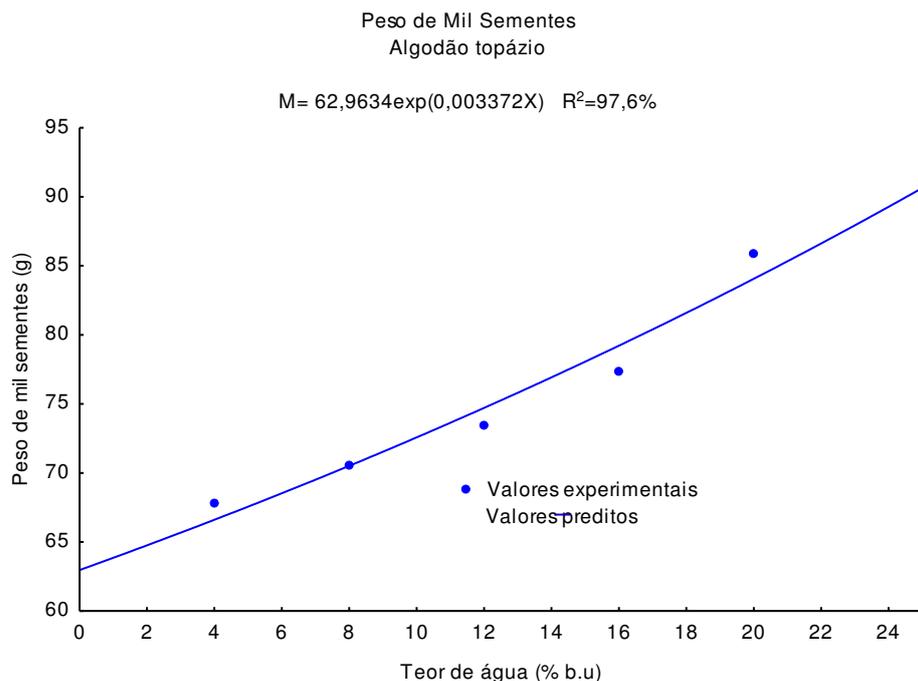


FIGURA I.3 – Efeito do teor de água na massa de mil sementes de algodão.

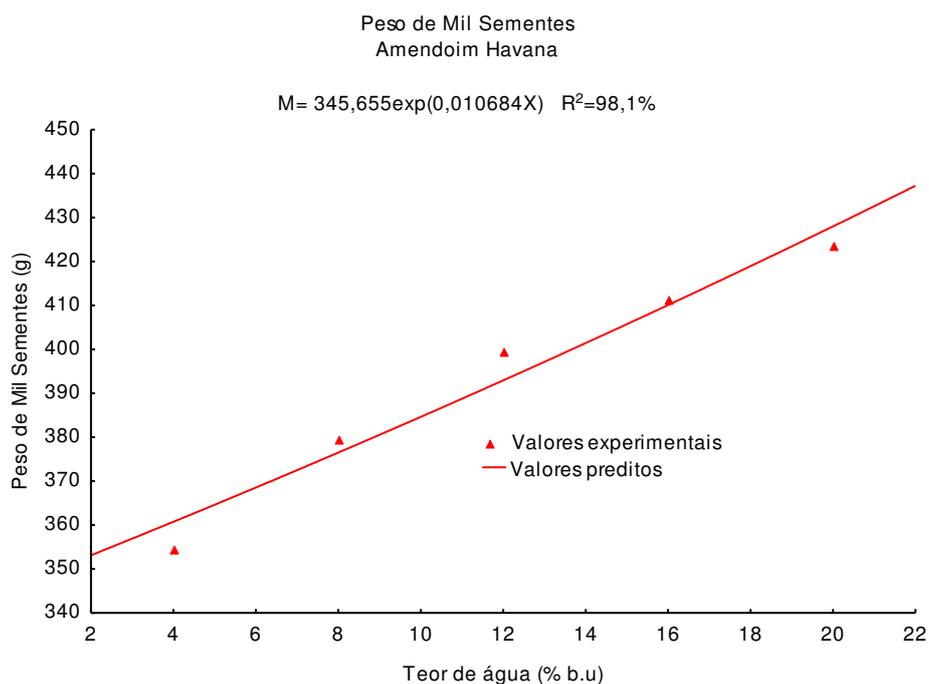


FIGURA I.4 – Efeito do teor de água na massa de mil sementes de amendoim.

Os resultados para o volume (cm^3), massa específica real ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$), massa específica aparente ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$), porosidade (%) e esfericidade (%) encontram-se nas Tabelas I.3 para as sementes de algodão e Tabela I.4 para as de amendoim.

TABELA I.3 – Valores das propriedades físicas das sementes de algodão em relação ao teor de água.

Teor de água (%)	Volume (cm ³)	Massa específica real (g.cm ⁻³)	Massa específica aparente (g.cm ⁻³)	Porosidade (%)	Esfericidade (%)
	Média	Média	Média	Média	Média
4	0,06±0,0051	1,35±0,0878	0,38±0,001	71,72±0,018	58,96±1,745
8	0,07±0,0112	1,09±0,0607	0,36±0,002	66,27±0,019	59,72±1,692
12	0,08±0,0068	1,02±0,0588	0,35±0,001	65,76±0,020	59,91±1,590
16	0,09±0,0064	0,92±0,0983	0,33±0,002	63,55±0,038	60,59±1,731
20	0,12±0,0079	0,88±0,065	0,33±0,001	62,59±0,025	61,19±1,892

TABELA I.4 - Valores de algumas propriedades físicas das sementes de amendoim em relação ao teor de água.

Teor de água (%)	Volume (cm ³)	Massa específica real (g.cm ⁻³)	Massa específica aparente (g.cm ⁻³)	Porosidade (%)	Esfericidade (%)
	Média	Média	Média	Média	Média
4	0,42±0,044	1,01±0,058	0,38±0,001	37,59±0,021	70,69±3,500
8	0,54±0,047	1,00±0,039	0,36±0,003	36,62±0,015	71,12±3,095
12	0,56±0,041	0,99±0,048	0,35±0,001	35,41±0,017	74,27±4,886
16	0,57±0,030	0,98±0,007	0,33±0,001	34,00±0,003	76,10±1,204
20	0,60±0,035	0,96±0,010	0,33±0,001	33,77±0,008	77,61±1,945

Nas Tabelas I.3 e I.4 é possível observar que ocorreu um acréscimo no volume variando de 0,06 a 0,12 g.cm⁻³ nas sementes de algodão e de 0,42 a 0,60 g.cm⁻³ para as sementes de amendoim; na esfericidade, variando de 58,96 a 61,19% para as sementes de algodão e de 70,69 a 77,61% para as sementes de amendoim.

Ocorreu um decréscimo na massa específica real de 1,35 a 0,88 g.cm⁻³ para o algodão e 1,01 a 0,96 g.cm⁻³ para as sementes de amendoim; na massa específica aparente de 0,38 a 0,32 g.cm⁻³ para o algodão e de 0,38 a 0,33 g.cm⁻³ para o amendoim. Em estudos realizados por GONELI et al. (2008), utilizando sementes de mamona (*Ricinus communis* L.) verificou-se um decréscimo da massa específica aparente com a redução do teor de água, os quais encontram concordância com os resultados obtidos nesse trabalho. Na porosidade houve uma variação de 71,72 a 62,59 % para as sementes de algodão e de 37,59 a 33,77% para as de amendoim em relação ao aumento do teor de água nas sementes. COUTO et al. (1999) também constataram o mesmo comportamento para as sementes de café, observando que há uma diminuição da porosidade com o aumento do teor de água. De acordo com MELO et al. (2007) a variação da porosidade com o teor de água é uma característica intrínseca de cada produto, aumentando ou diminuindo como o aumento do teor de água, devido a textura e a composição do material que constitui a casca deste produto, fato este que pode ser constatado nesse estudo.

FIROUZI et al. (2012) ao estudar os efeitos do teor de água nas propriedades físicas do feijão de corda observou que a massa de mil sementes e a esfericidade aumentaram com o aumento do teor de água nas sementes e que a massa específica real e aparente e a porosidade diminuíram. Estudos realizados por ÜÇER (2010) com sementes de pimenta vermelha também foi verificou um decréscimo na massa específica real e aparente das sementes. Já o resultado das pesquisas de WANG et. al (2007), SIMONYAN (2009) e ISIK (2007) foi observado que o acréscimo de água nas sementes provocou um aumento na massa de mil sementes, massa específica real e uma diminuição na massa específica aparente.

Também é possível visualizar os dados do volume, massa específica real, massa específica aparente, porosidade e esfericidade das sementes algodão e amendoim nas Figuras I.5 a I.14 onde também é mostrada a distribuição dos resíduos das propriedades físicas citadas anteriormente.

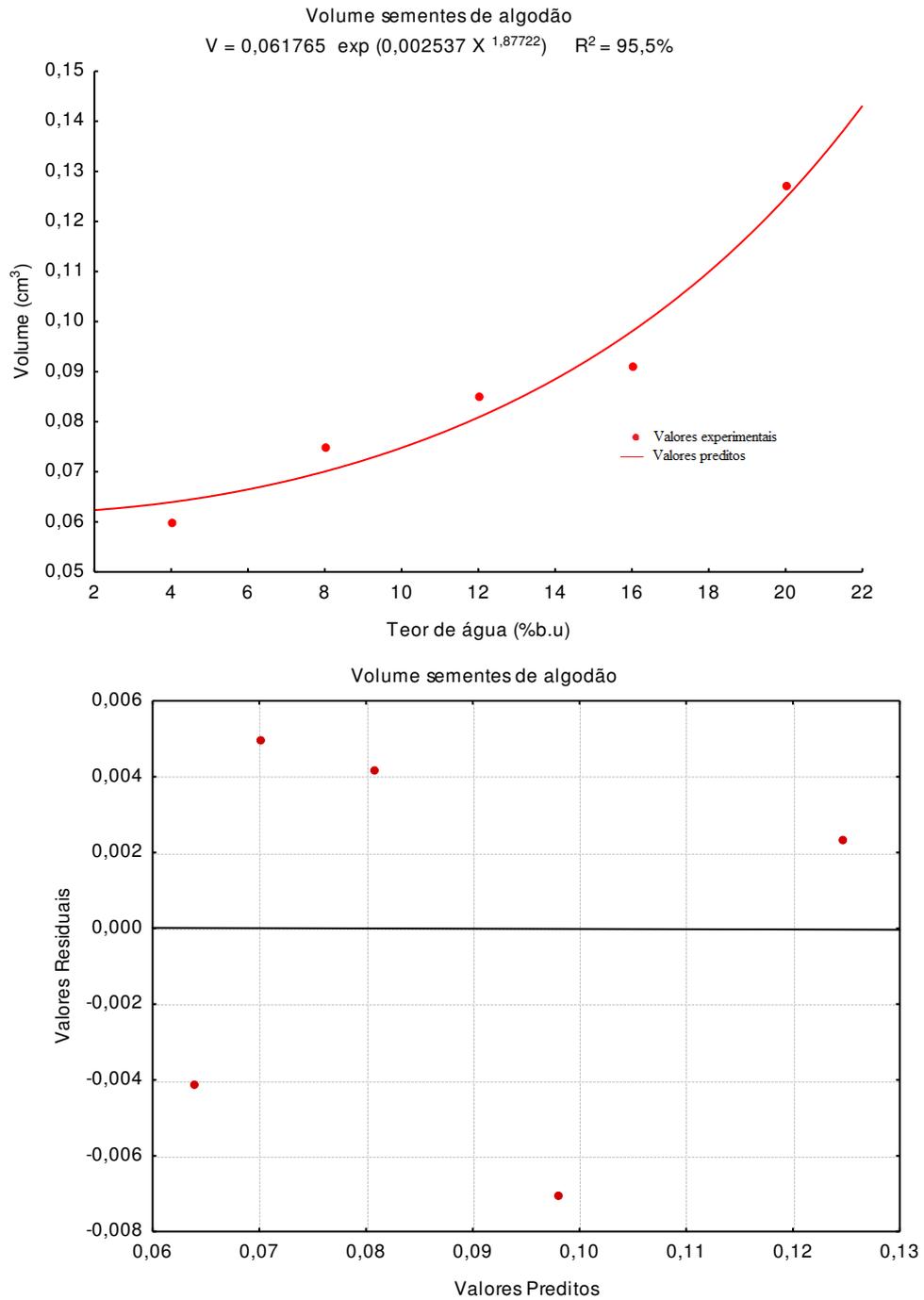


FIGURA I.5 – Volume e distribuição dos resíduos para os dados das sementes de algodão.

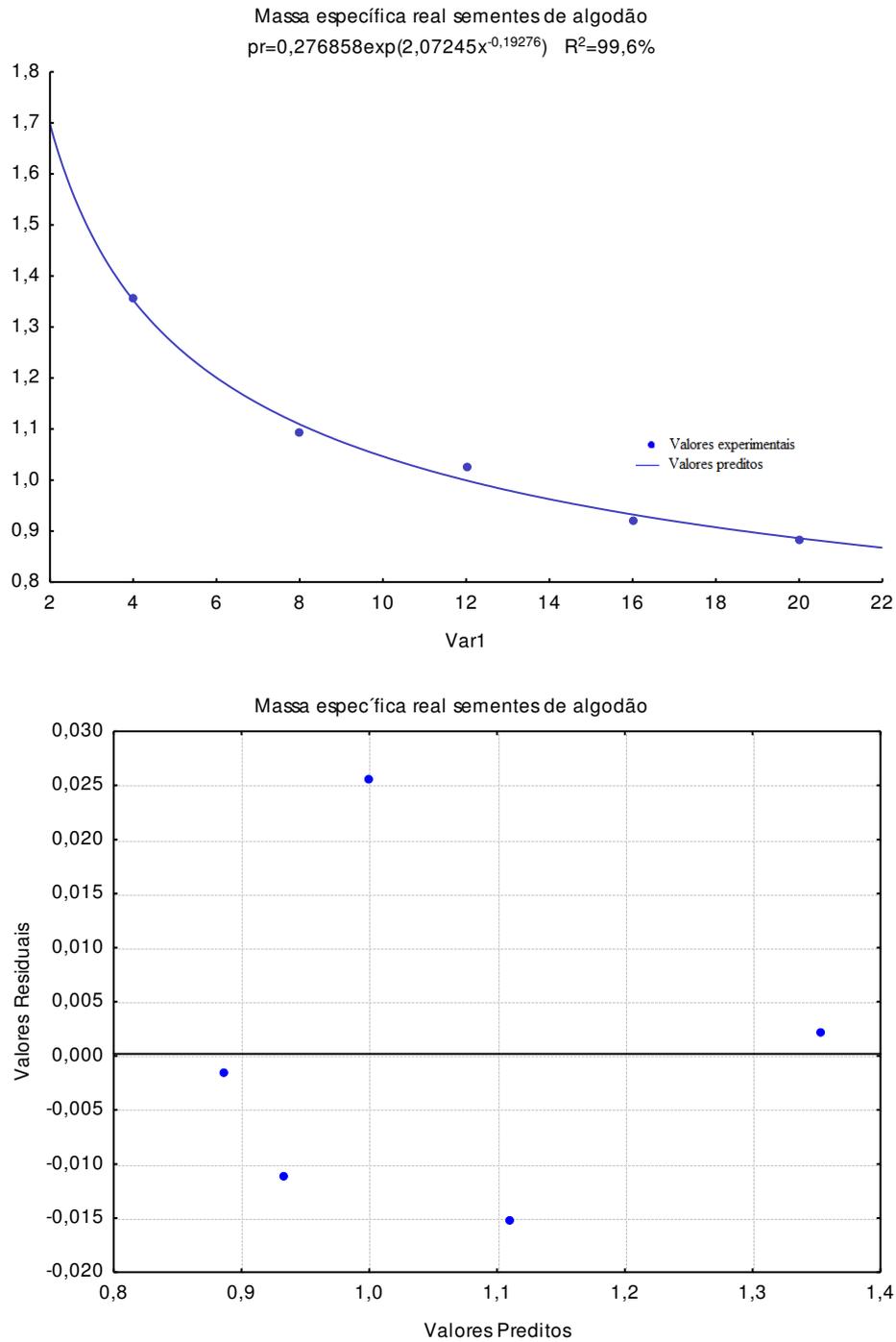


FIGURA I.6 – Massa específica real e distribuição dos resíduos para os dados das sementes de algodão.

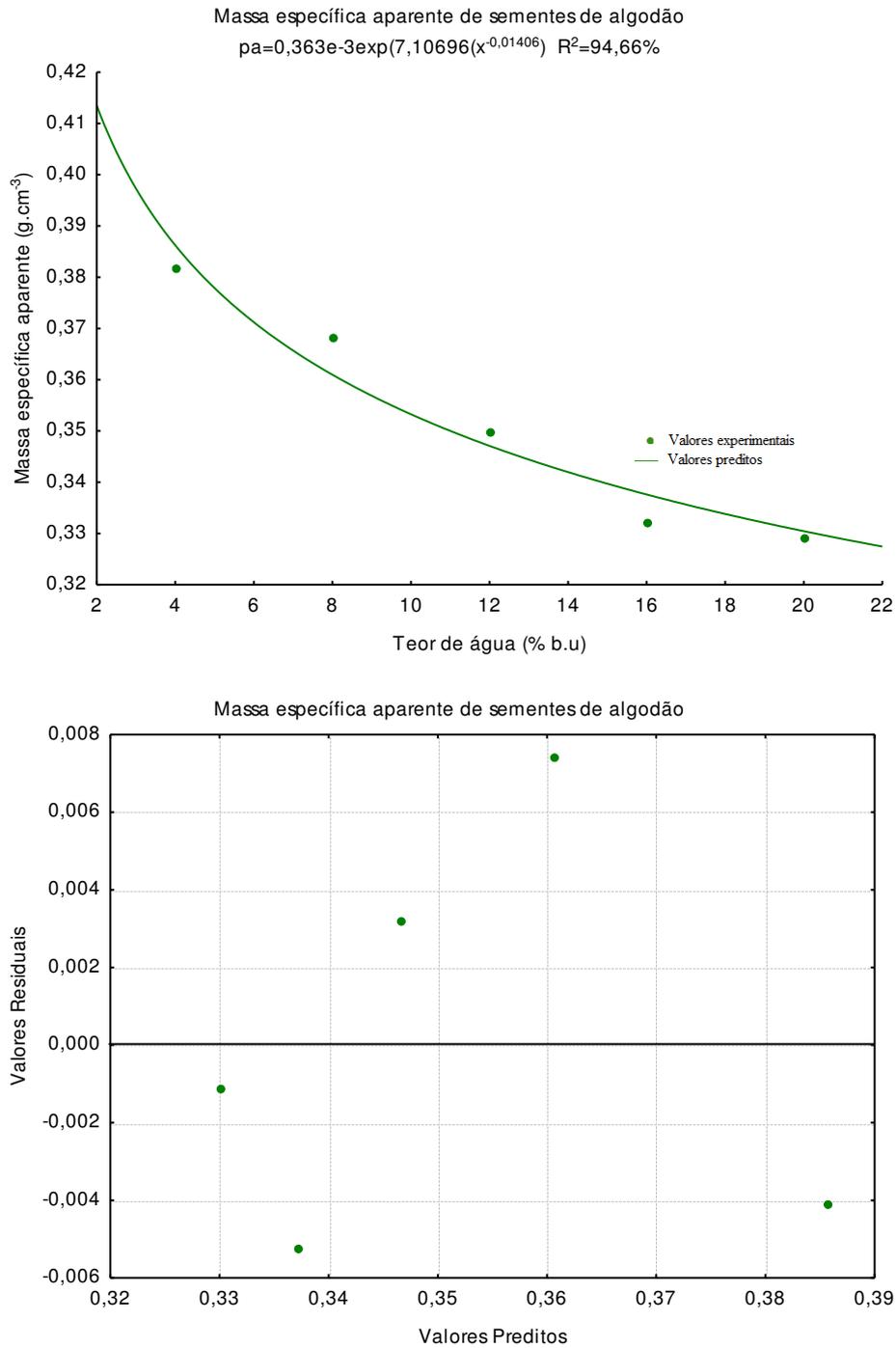


FIGURA I.7 – Massa específica aparente e distribuição dos resíduos para os dados das sementes de algodão.

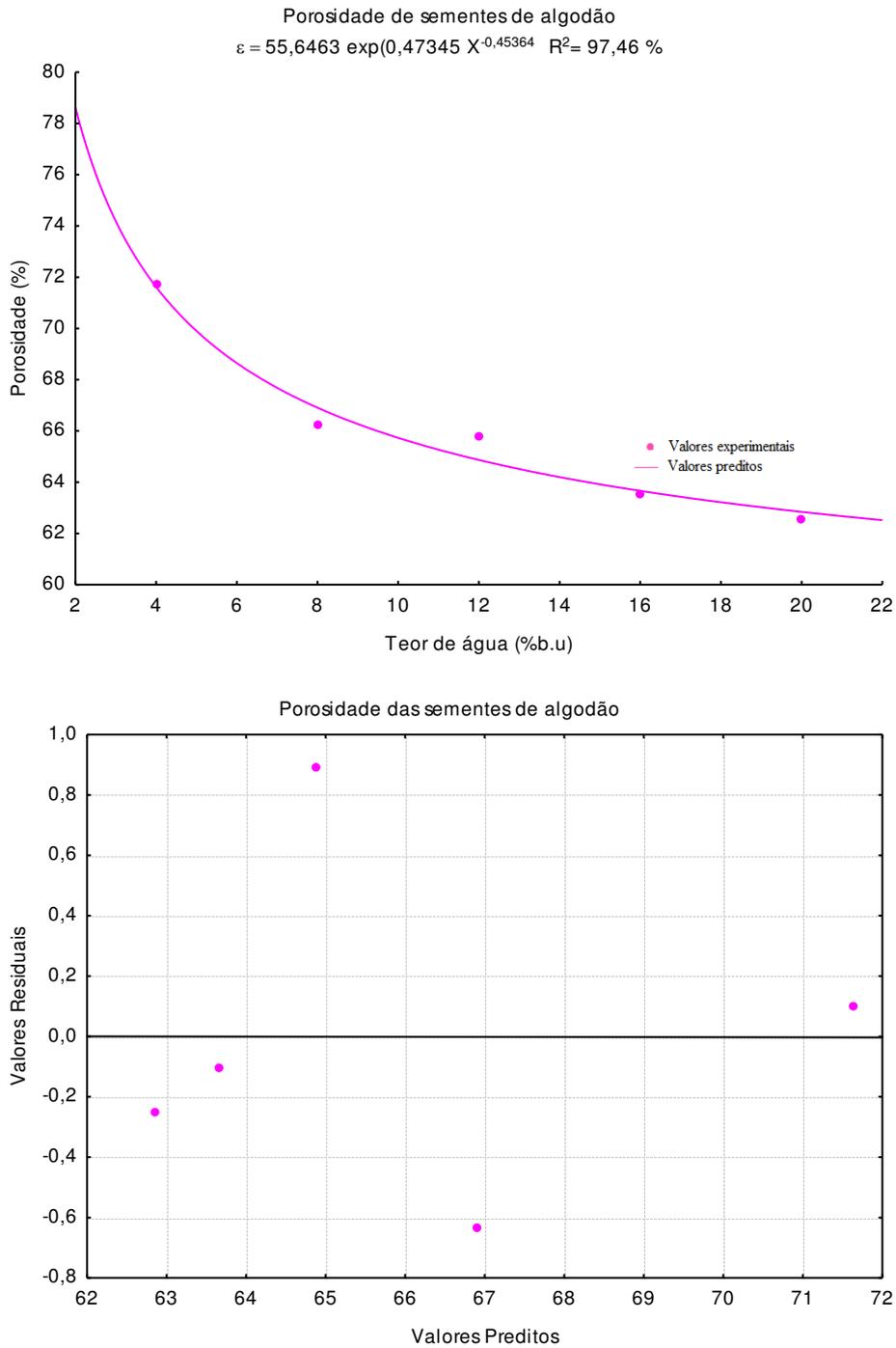


FIGURA I.8 – Porosidade e distribuição dos resíduos para os dados das sementes de algodão.

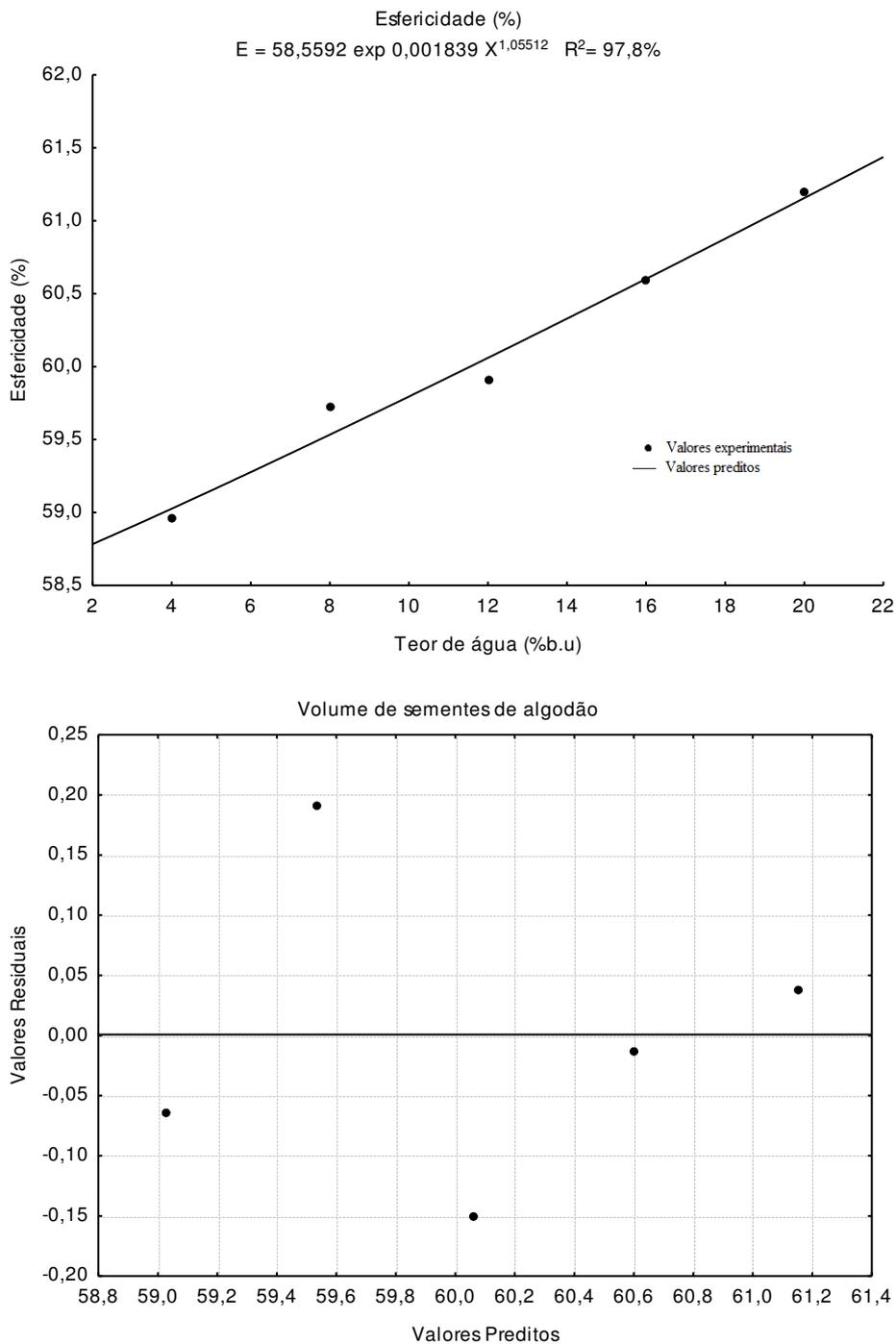


FIGURA I.9 – Esfericidade e distribuição dos resíduos para os dados das sementes de algodão.

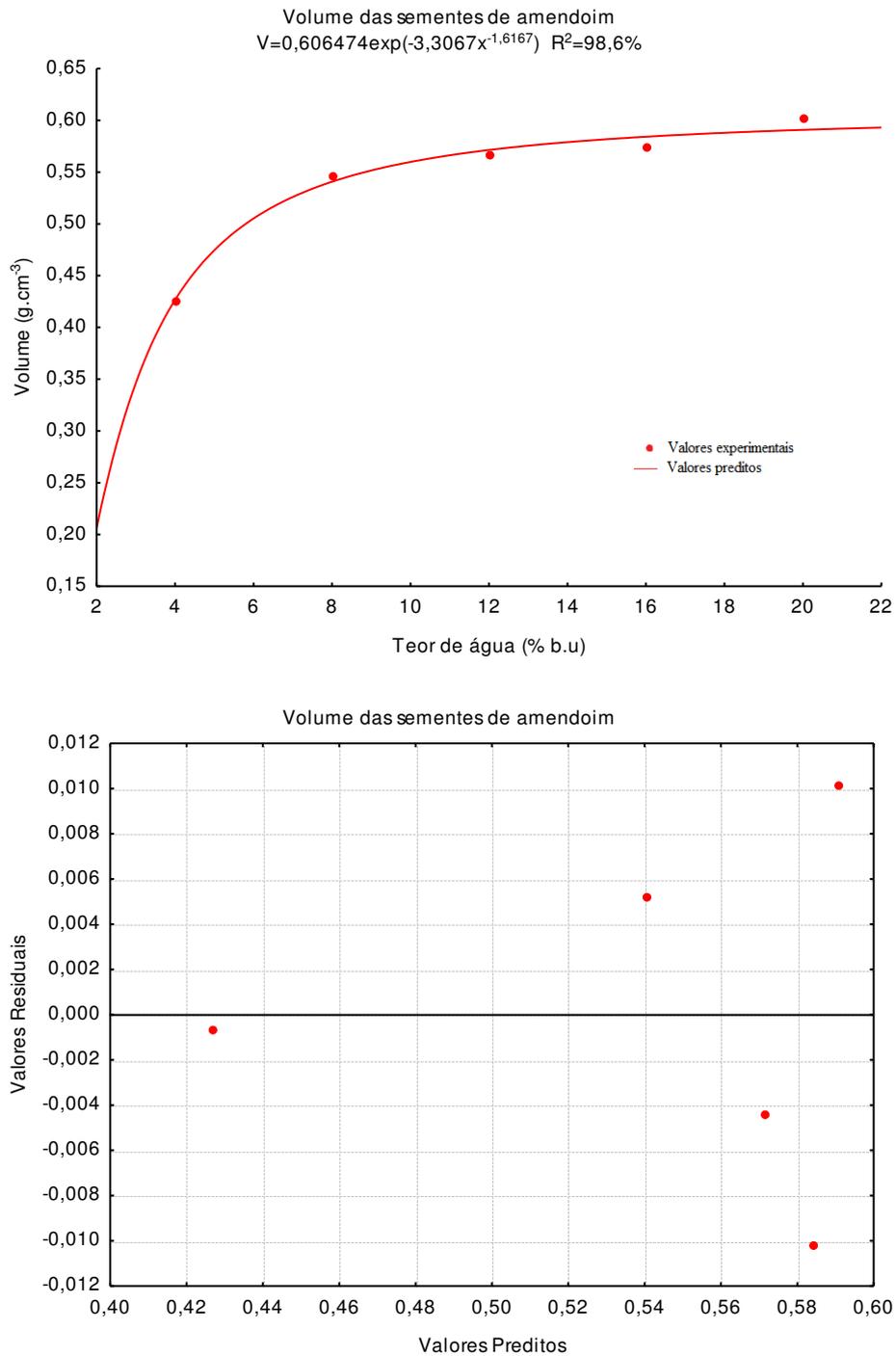


FIGURA I.10 – Volume e distribuição dos resíduos para os dados das sementes de amendoim.

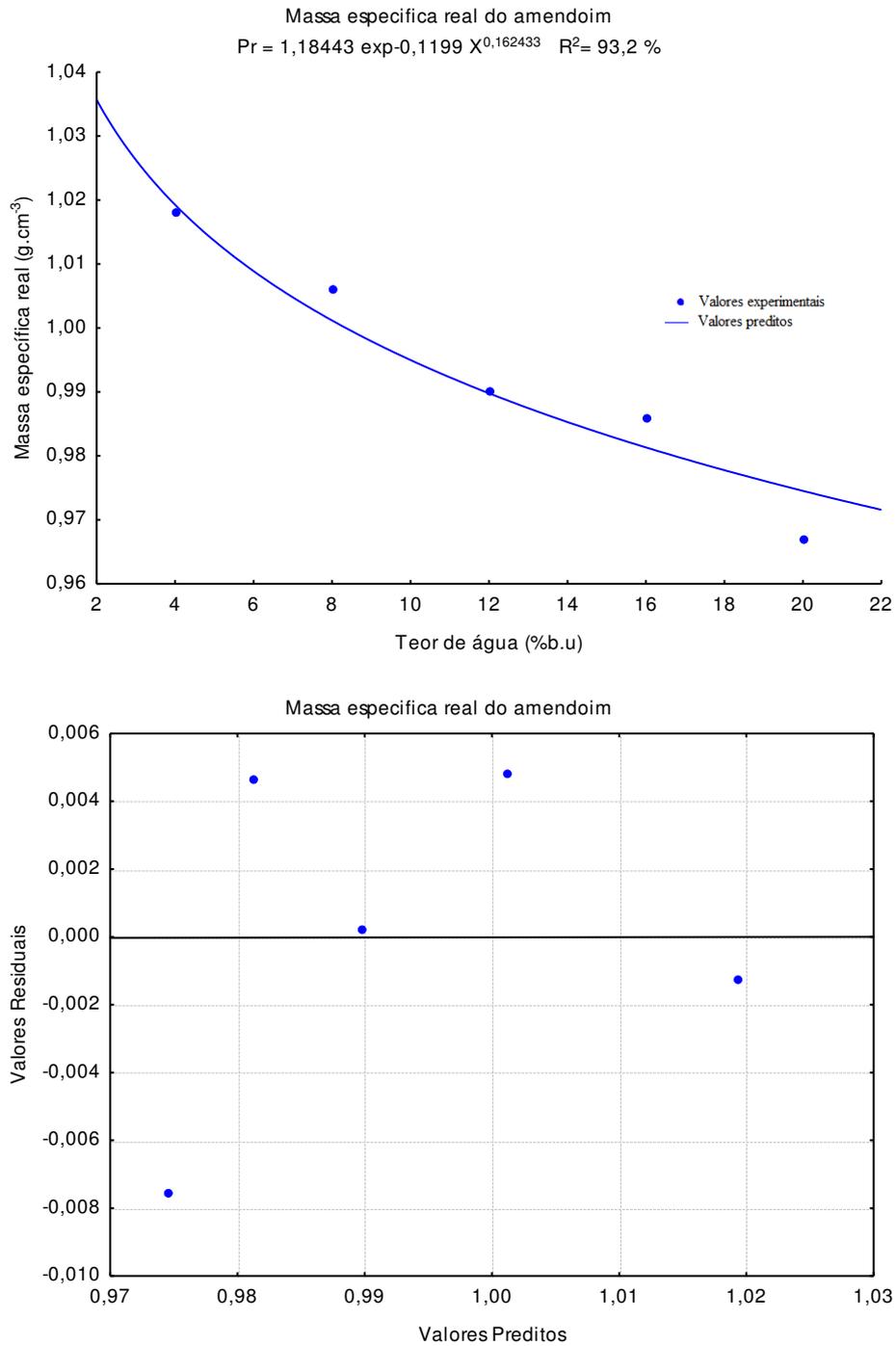


FIGURA I.11 – Massa específica real e distribuição dos resíduos para os dados das sementes de amendoim.

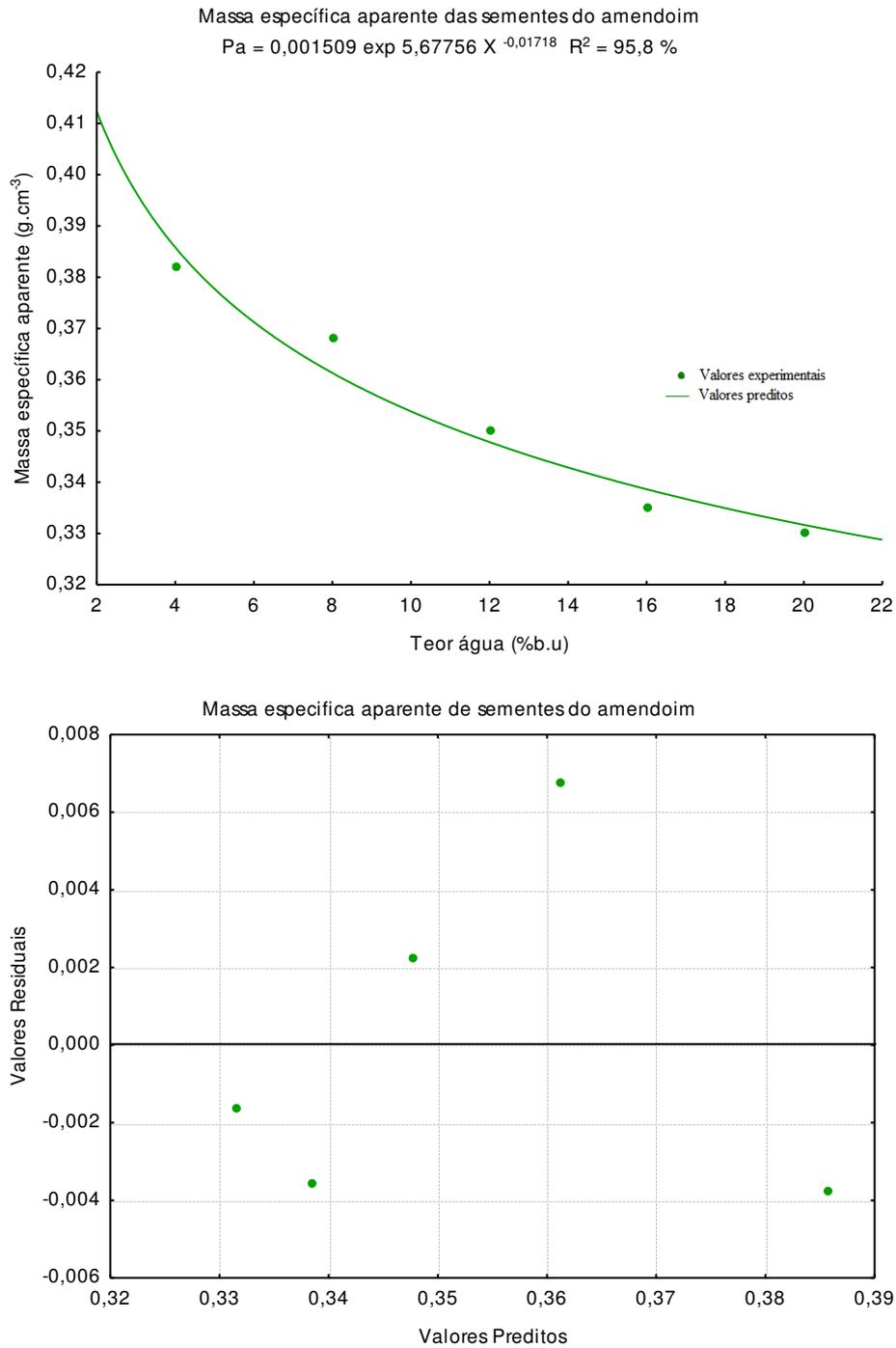


FIGURA I.12 – Massa específica aparente e distribuição dos resíduos para os dados das sementes de amendoim.

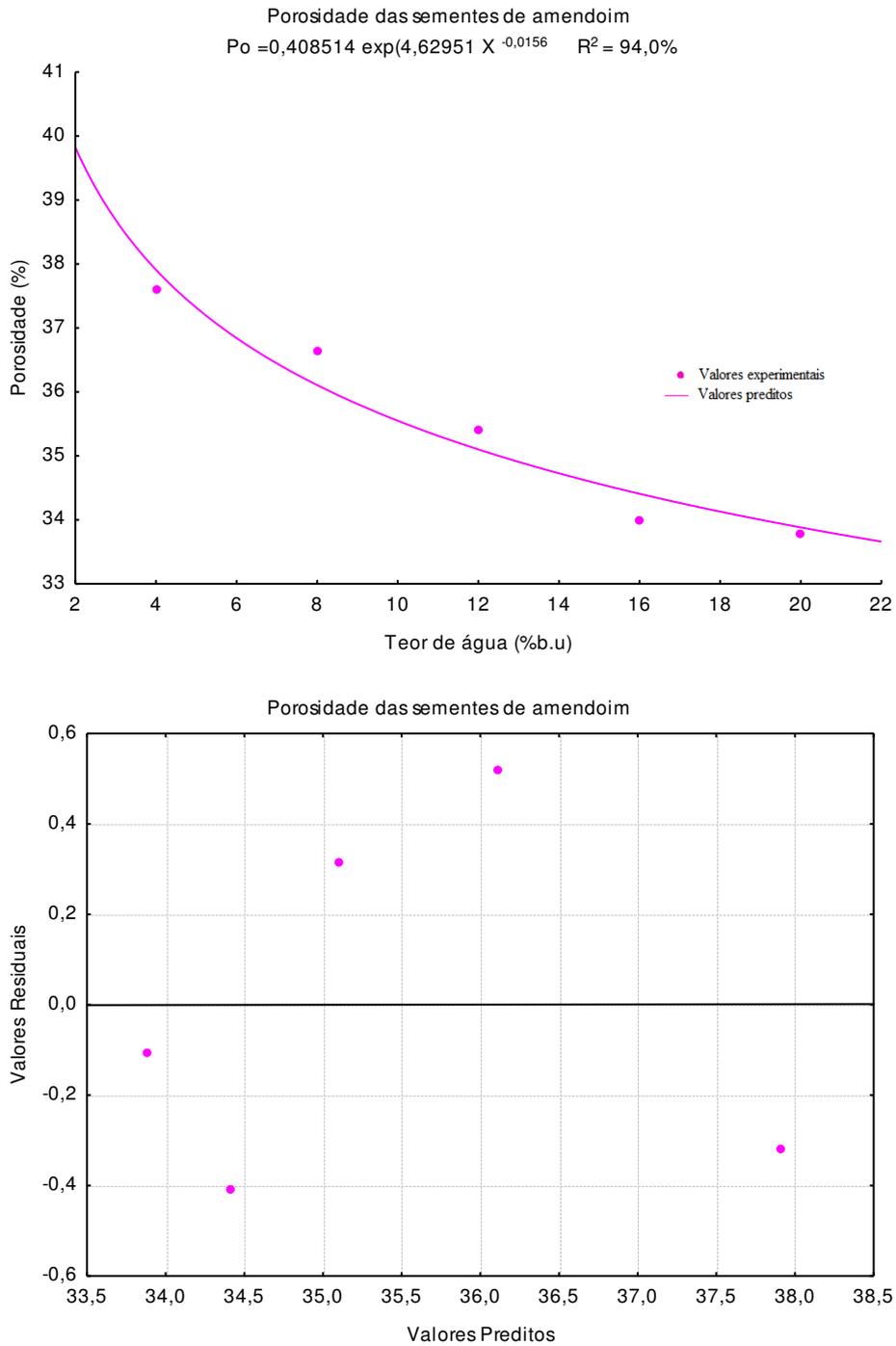


FIGURA I.13 – Porosidade e distribuição dos resíduos para os dados das sementes de amendoim.

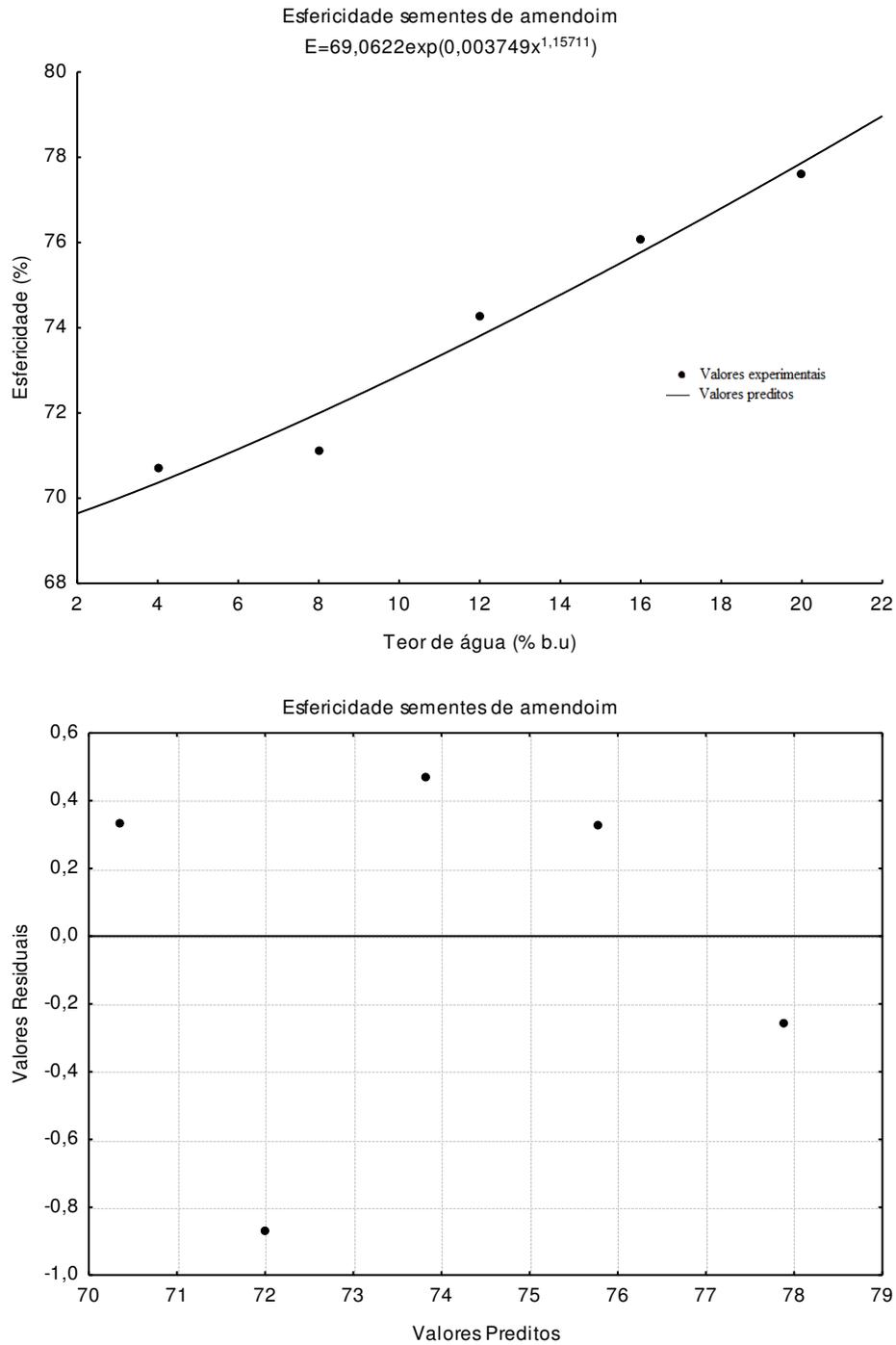


FIGURA I.14 – Esfericidade e distribuição dos resíduos para os dados das sementes de amendoim.

Os resíduos podem ser considerados como erros observados, para distingui-los dos erros verdadeiros desconhecidos na regressão não linear. A verificação de que a função de regressão é adequada aos dados pode ser feita através do gráfico dos resíduos versus valores preditos. Com base neste fato, observando as Figuras I.5 a I.14, verifica-se que a distribuição dos resíduos segue um modelo não tendencioso.

Nas Figuras I.15 a I.20 estão representados os valores médios das propriedades termofísicas (calor específico, difusividade térmica e condutividade elétrica) para as sementes de algodão e amendoim.

Verifica-se que os valores do calor específico, realizado através da técnica do DSC, aumentaram com a elevação do teor de água nas sementes analisadas. Nas sementes de algodão houve um aumento de 1,43 a 1,96 $\text{kJ.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$, e nas sementes de amendoim de 1,53 a 2,05 $\text{kJ.kg}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ em função do teor de água, como acontece para a maioria dos produtos agrícolas. O método das misturas tem sido utilizado por vários pesquisadores, dentre eles: ALMEIDA (1979) para amêndoas de cacau; HENSE (1990) em filé de cação; JHA & PRASAD (1993) em nozes e VIEIRA (2000) para suco de laranja.

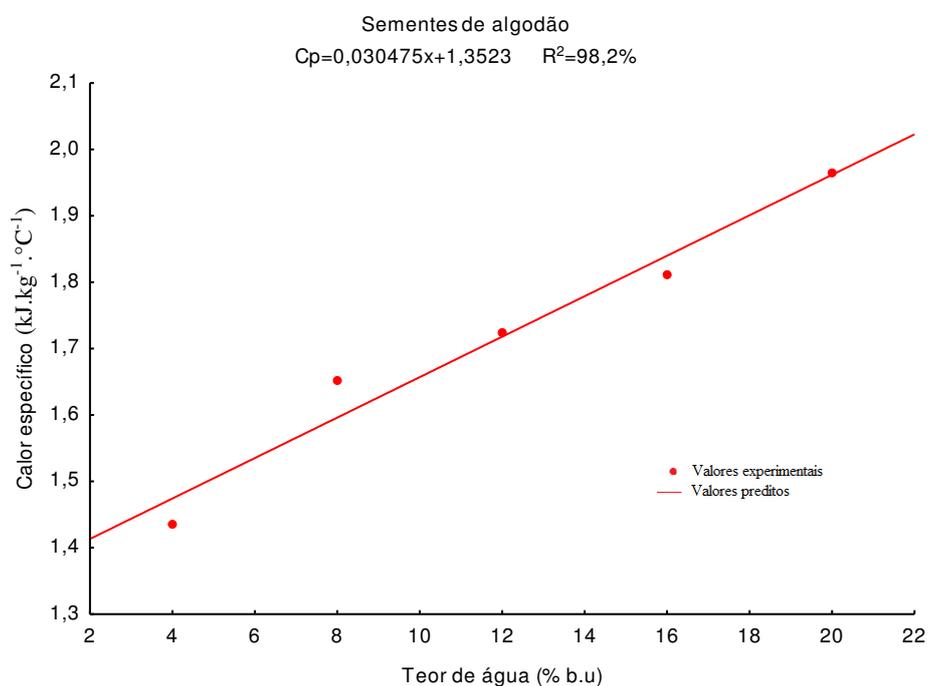


FIGURA I.15 – Calor específico das sementes de algodão em função do teor de água.

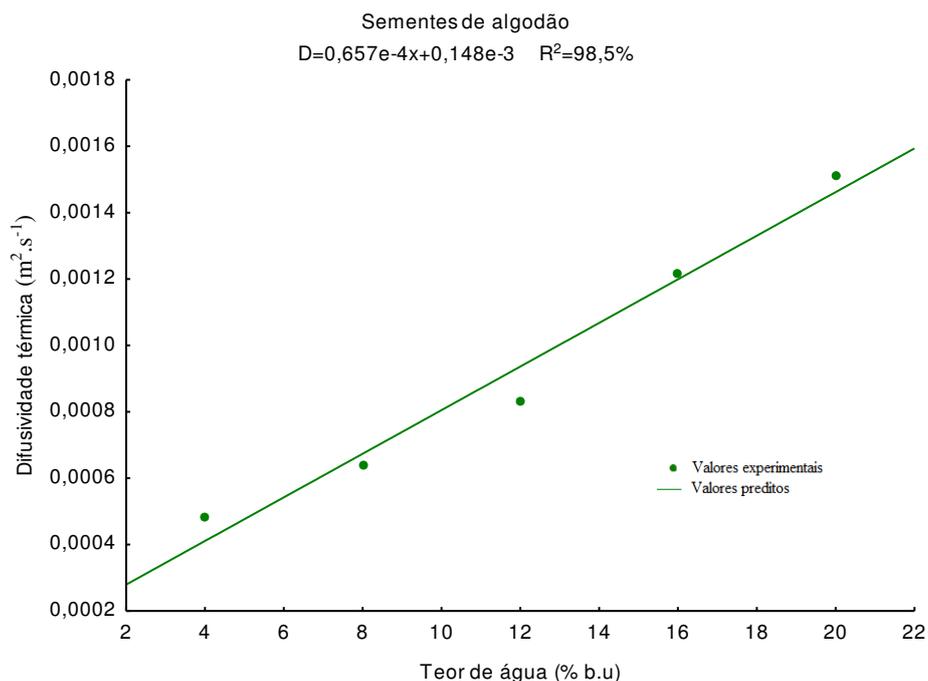


FIGURA I.16 – Difusividade das sementes de algodão em função do teor de água.

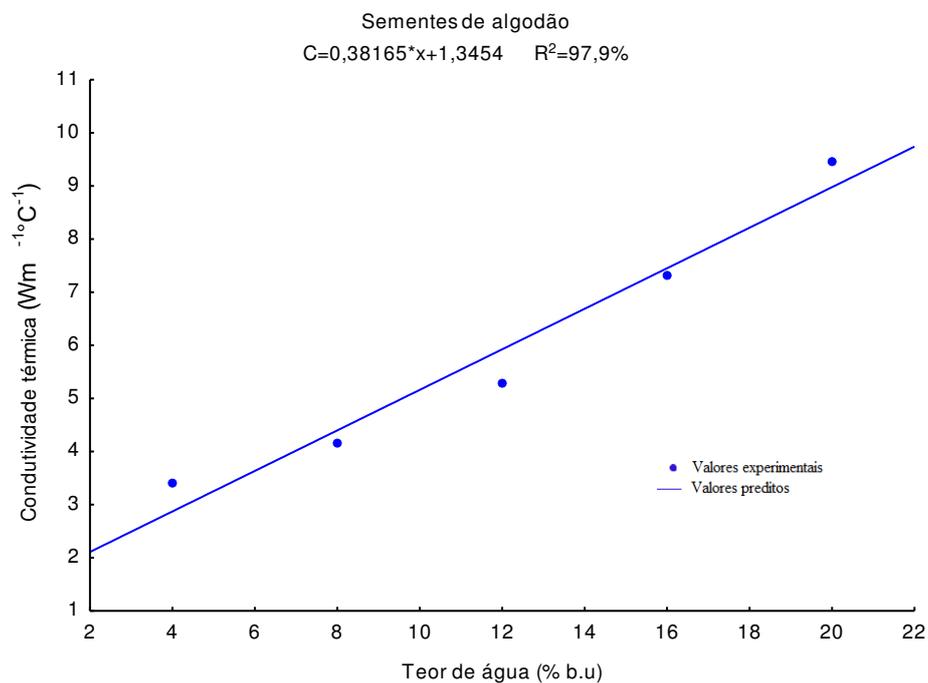


FIGURA I.17 – Condutividade térmica das sementes de algodão em função do teor de água.

Analisando as Figura I.15 e I.20, observa-se que os valores da difusividade térmica e condutividade térmica também aumentaram linearmente em função do teor de água das sementes. A difusividade térmica aumentou de 0,000486 para 0,001511 m^2/s nas sementes

de algodão e de 0,00073 para 0,00212 m²/s nas sementes de amendoim. O aumento na condutividade térmica nas sementes de algodão foi de 3,407 para 9,460 Wm⁻¹°C⁻¹ e nas sementes de amendoim de 4,112 para 15,174 Wm⁻¹°C⁻¹.

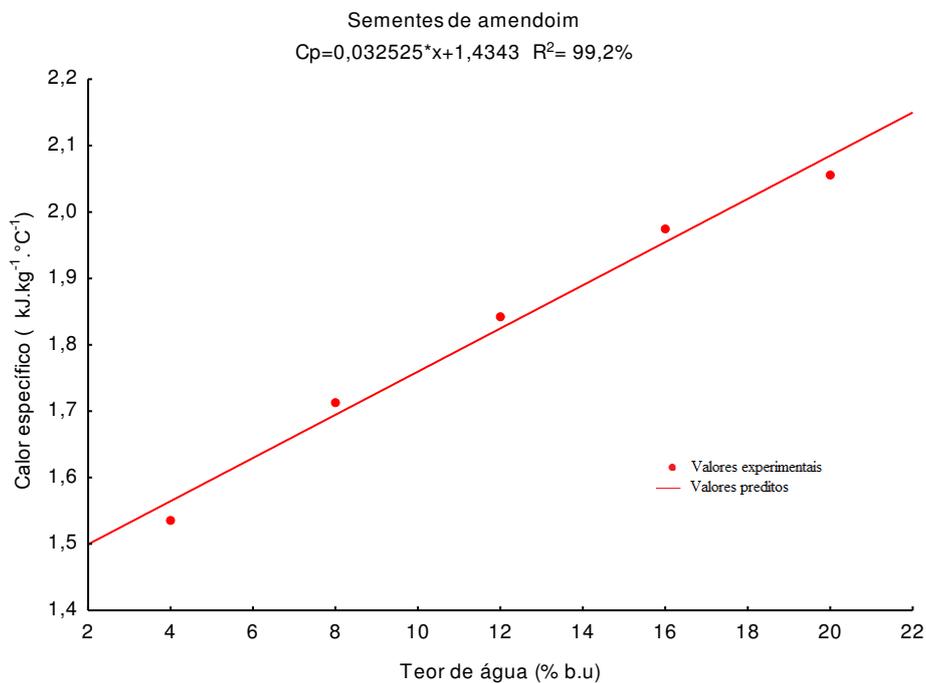


FIGURA I.18 – Calor específico das sementes de amendoim em função do teor de água.

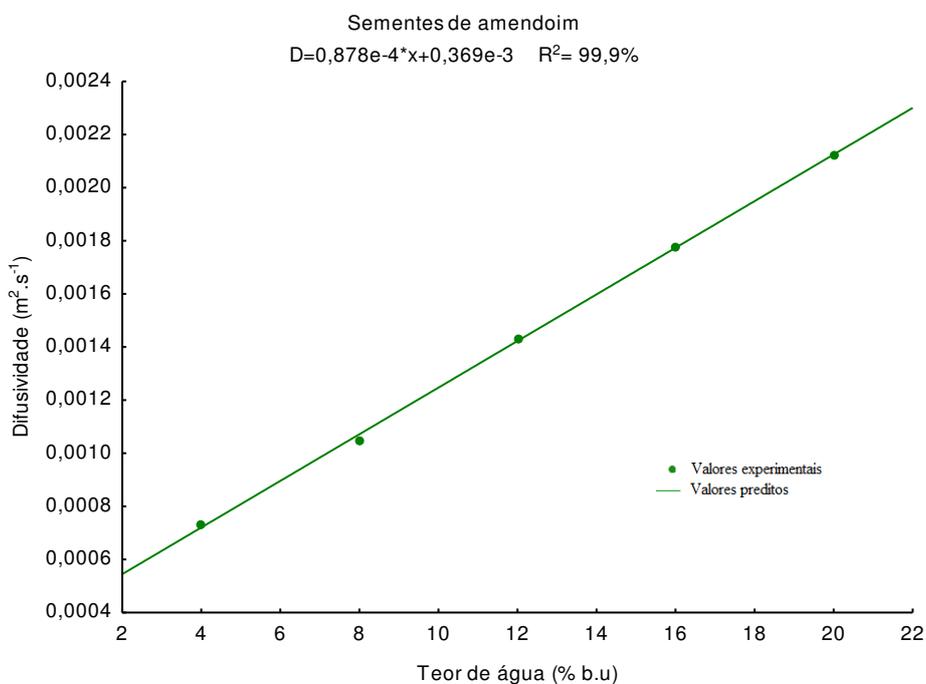


FIGURA I.19 – Difusividade das sementes de amendoim em função do teor de água.

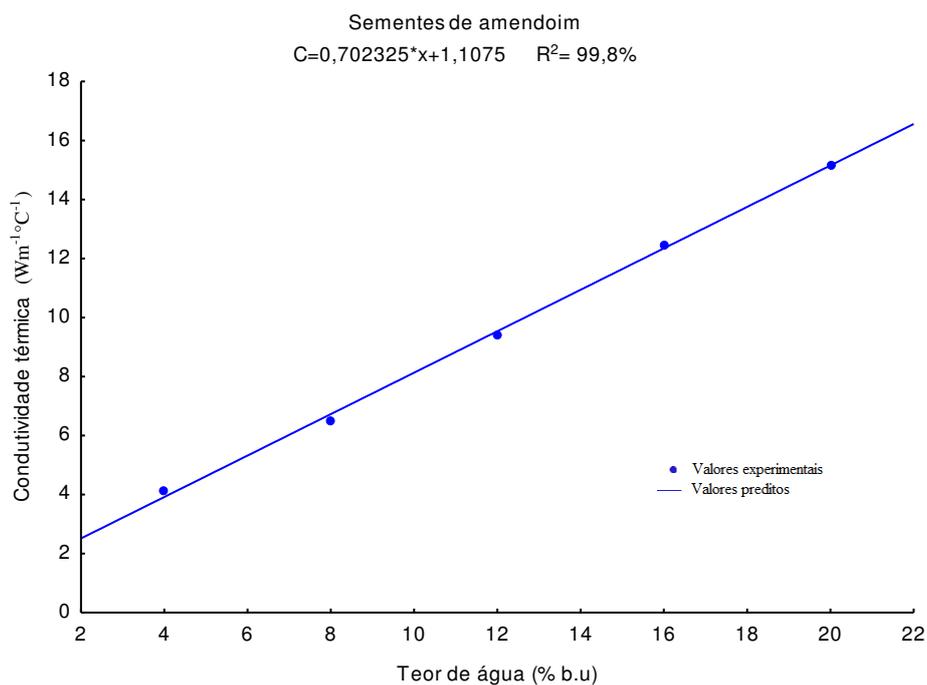


FIGURA I.20 –Condutividade térmica das sementes de amendoim em função do teor de água.

Este comportamento também foi observado por GAMA et al. (2012) ao estudar a difusividade de sementes de cajá. Porém, ALMEIDA et al. (2013) ao estudar a difusividade para sementes de feijão em três teores de água diferentes, concluíram que para o Modelo de Fourier a difusividade térmica diminui à medida que o teor de água aumenta.

Nas propriedades termofísicas para as sementes de algodão e amendoim, o modelo linear representa com satisfação os dados, com coeficiente de variação acima de 97%.

I.4 - CONCLUSÕES

- O comprimento, a largura e a espessura das sementes de algodão e amendoim aumentam com o acréscimo do teor de água.
- O modelo exponencial representa satisfatoriamente as propriedades físicas das sementes de algodão e amendoim.
- Com a elevação do teor de água, a massa específica real, massa específica aparente e a porosidade sofreram redução de seus valores.
- O calor específico, difusividade térmica e a condutividade aumentaram com o aumento do teor de água.
- O modelo linear representa satisfatoriamente as propriedades termofísicas das sementes de algodão e amendoim.

I.5- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, B. V. **Determinação de propriedades físicas de amêndoas de cacau (Theobroma cacao, L.)**. 1979. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1979.

ALMEIDA, F.A.C.; CAVALCANTI MATA, M.E.R.M. **Conservação dos recursos fitogenéticos da região semi-árida através da criopreservação**. Projeto de Pesquisa. Campina Grande, PB: Universidade Federal da Paraíba, 1997, 37p.

ALMEIDA, R D.; NÓBREGA, A. M. M. C.; SANTOS, J. E. A.dos; BRITO, K. Q.D. estudo das curvas de congelamento criogênico das sementes de feijão-caupi (Vigna unguiculata (L.) Walp.) variedade itaim. **III Congresso Nacional do feijão caupi**. 22 a 24 de abril, 2013.

ALTUNTAS, E.; DEMIRTOLA, H. Effect of moisture content on physical properties of some grain legume seeds. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**. v. 35,n. 423-433, 2007.

BARYEH, EDWARD A.;MANGOPE, B.K. Some physical properties of QP-38 variety pigeon pea. *Journal of FoodEngineering*, London, v. 51, p. 39-46, 2002

BELTRÃO, N. E. M.; SOUZA, J. G.; AZEVEDO, D. M. P.; LEÃO, A.B.; CARDOSO, G. D. Fitologia do algodoeiro herbáceo: sistemática, orgnografia e anatomia. In: BELTRÃO, N.E; AZEVEDO, D.M.P. (Ed). **O Agronegócio do Algodão no Brasil**. 2. Ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. Cap. 6, p. 182-217, 2008.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, sexto levantamento, março 2013** / Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília : Conab, 2013.

CONCEIÇÃO, M.M., **Estudo termoanalítico e Cinético do milho e derivados.** 2000 Tese de Doutorado, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, João Pessoa, Brasil, 2000.

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 Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.1, p.61-68, 1999.

DIAS, D. C. F. **Maturação de sementes.** Seed News, Pelotas, v.5, n.6, p. 22-24. 2001.

DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M., ALMEIDA, F. A. C. Características físicas das sementes. In: ALMEIDA, F. A. C.; DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. (ed). **Tecnologia de armazenamento em sementes**, 2006. Campina Grande: UFCG, cap.5, p.191-297.

FANTINATTI, J. B., USBERTI, R., BROD, F. P. R. **Isotermas de sorção de sementes de *Eucalyptus grandis* E *Pinus taeda*.** **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 27, nº 2, p.06-11, 2005.

FIROUZI, S.; ALIZADEH, M. Effect of Moisture Content on Selected Physical Characteristics of Cowpea Seed (*Vigna unguiculata* L. Walp) **Scholars Research Library Annals of Biological Research**, 3 (7):3583-3590, 2012.

FONTANA, A. J; WACKER, B; CAMPBELL, C.S.; CAMPBELL, G. S. Simultaneous Thermal Conductivity, Thermal Resistivity, and Thermal Diffusivity Measurement of Selected Foods and Soils. California, USA: ASAE. **The Society for engineering in agricultural, food, and biological systems**, 2001.

FREITAS, J.B **Qualidade nutricional e valor proteico da amêndoa de baru em relação ao amendoim, castanha-de-caju e castanha-do-pará.** 2009. 61f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos) - Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

GAMA, M. J. de. **Propriedades termofísicas de sementes de frutas tropicais**. 2011. 248f. Tese de doutorado (Engenharia de Processos) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

GAMA, M. J. de A.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M.; ARAGÃO, R. F.; FARIAS, P. de A. Difusividade térmica aparente de sementes de cajá em temperaturas acima do congelamento até ultrabaixas temperaturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.16, n.3, p.303–308, 2012.

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

HENSE, H. **Avaliação dos parâmetros e a cinética de congelamento de cação**, 1999, 166P. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas. Campinas – SP, 1999.

ISIK, E.; IZLI, N. Moisture Dependent Physical and Mechanical Properties of Dent Corn (*Zea mays* var. *indentata* Sturt.) Seeds(Ada-523). **American Journal of Food Technology** v.2, n.5, p.342-353, 2007.

JAH, N.; PRASAD, S. Physical and thermal properties of gorgon nut. **Journal of Processing Engineering**, v.16, p. 237-245, 1993.

MOHSENIN, N.N. Physical properties of plant and animal material. Gordon and Breach **Science Publishess**. New York, 2 ed, 742p, 1978.

OLIVEIRA NETO, M. C. de ; REIS, R. C. dos; DEVILLA, I. A. Propriedades físicas de sementes de feijão (*phaseolus vulgaris* l.) variedade “emgopa 201 – ouro”. **Revista Agrotecnologia**, v.01,n.01, 2007.

RIBEIRO,D.M.; CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; BOTELHO, F. M..Propriedades térmicas de grãos de trigo: determinação e modelagem. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 462-467, mar./abr., 2007

SIMONYAN K.J., YILJEP Y.D., OYATOYAN O.B., BAWA G.S. “Effects of Moisture Content on Some Physical Properties of *Lablab purpureus* (L.) Sweet Seeds” **Agricultural Engineering International**: the CIGR Ejournal Manuscript 1279p, v.9, 2009.

TARIGHI, J.; MOHTASEBI, S. S.; MAHMOODI, A. Effect of moisture content on some physical properties of safflower (var. Darab) seeds. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v.8, n.3&4, 2010.

ÜNAL, H.; ALPSOY, H.C.; AYHAN, A.. Effect of moisture content on some physical properties of safflower (var. Darab) seeds. **International Agrophysics**, v. 27, 2013.

ÜÇER, N., KILIÇKAN, A.; YALÇIN, B. Effects of moisture content on some physical properties of red pepper (*Capsicum annuum* L.) seed. **African Journal of Biotechnology** v.9, n.24, p. 3555-3562, 2010.

VIEIRA, S. B. **Propriedades termofísicas e convecção no escoamento laminar de suco de laranja em tubos**. 2000, 201f. (Tese de Doutorado), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2000.

WANG, B.; LI, D.; WANG, LI-JUN; HUANG, ZHI-GANG;ZHANG LU; CHEN; XIAO DONG; MAO, ZHI-HUAI. Effect of Moisture Content on the Physical Properties of Fibered Flaxseed. **International Journal of Food Engineering**. V.3, n.5, 2007.

CAPÍTULO II -

**ATIVIDADE DE ÁGUA DE SEMENTES DE ALGODÃO TOPÁZIO E
AMENDOIM HAVANA EM FUNÇÃO DO TEOR DE ÁGUA**

ATIVIDADE DE ÁGUA DE SEMENTES DE ALGODÃO TOPÁZIO E AMENDOIM HAVANA EM FUNÇÃO DO TEOR DE ÁGUA

RESUMO

Sabe-se que o crescimento e o metabolismo dos microrganismos demandam presença de água em forma disponível e a medida mais comumente empregada para expressar a estabilidade de um produto é a atividade de água (A_w). Nesse sentido, objetivou-se estudar a atividade de água em sementes de algodão Topázio e amendoim Havana, relacionando-a com a temperatura, mensuradas em um higrômetro AQUAlab 3TE da Decagon. Foram utilizados os modelos matemáticos de Henderson modificado por Cavalcanti Mata, Copace, Sigma-Copace e Sabbah. De início, triturou-se manualmente aproximadamente 1,5g de sementes para cada teor de água desejado. As amostras foram colocadas uma a uma em célula específicas do aparelho AQUAlab até que cobrissem totalmente o fundo da célula até a marca indicada, em seguida foi colocada no aparelho para ser realizada a leitura. Ajustou-se a temperatura para 40 °C e foram feitas todas as leituras para as sementes com 4, 8, 10, 12 e 14% b.u, repetindo-se este procedimento, ajustando o aparelho nas outras temperaturas estudadas de 30, 20 e 15 °C. O modelo de Henderson modificado por Cavalcanti-Mata foi selecionado para representar a higroscopicidade das sementes de algodão e o modelo de Sabbah representou melhor os dados para as sementes de amendoim. A equação proposta por Sabbah foi a que melhor representou os dados experimentais das sementes de amendoim Havana em comparação com os modelos de Copace e Sigma-Copace.

Palavras-chave: sementes, atividade de água, higroscopicidade.

WATER ACTIVITY OF COTTON SEEDS TOPAZIO AND PEANUT HAVANA

ABSTRACT

It is known that the growth and metabolism of the microorganisms require the presence of water in available form and as commonly employed to express the stability of a product is the water activity (A_w). In this sense, the objective was to study the activity of water in cottonseed Topaz and peanuts Havana, relating it to the temperature, measured in a hygrometer AquaLab 3TE the Decagon. Were utilizados mathematical models of Henderson modified by Cavalcanti Woods Copace, Sigma-Copace and Sabbah. Initially, triturated manually approximately 1.5 g of seeds for each moisture content desired. The samples were placed one by one in cell-specific instrument AquaLab until they covered all the cell background to the mark indicated, was then placed in the apparatus to be held reading. Set the temperature to 40 °C and were made all the readings for the seeds with 4, 8, 10, 12 and 14% wb, repeating this procedure, setting the apparatus in other storage temperatures of 30, 20 and 15 °C. The Henderson model modified by Cavalcanti-Mata was selected to represent the hygroscopicity of cotton seeds and model Sabbah better represented the data for peanut seeds. The equation proposed by Sabbah was best represented the experimental data of peanut seeds Havana compared to models Copace and Sigma-Copace.

Keywords: seeds, water activity, hygroscopicity.

II. 1-INTRODUÇÃO

A utilização de sementes de alto potencial fisiológico é fundamental para o estabelecimento adequado do estande na cultura do algodão e amendoim. Deve-se considerar que o potencial fisiológico das sementes é influenciado por vários fatores dentre eles está à relação entre o teor de água e o armazenamento.

Os produtos agrícolas, como sementes e grãos, possuem a capacidade de ganhar ou perder vapor d'água em relação ao ambiente durante o armazenamento. Essa propriedade vai depender das condições de umidade relativa do ar e da temperatura onde as sementes alcançarão o equilíbrio higroscópico no ambiente em que forem armazenadas. Isto constitui uma importante estratégia para a conservação genética “ex situ” de espécies vegetais, atendendo objetivos como a conservação, o melhoramento ou a propagação (BORGES, et al., 2009).

O equilíbrio higroscópico ocorre quando o teor de água dos grãos e sementes fica em equilíbrio com a umidade relativa do ar em uma determinada temperatura (BORDIGNON, 2009). Segundo o mesmo autor, as condições de umidade relativa e de temperatura durante o armazenamento, onde as sementes alcançarão o equilíbrio higroscópico específico, determinarão a manutenção de sua qualidade fisiológica.

A composição química do produto influencia diretamente o processo de sorção de água. 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. As curvas de teor de água de equilíbrio podem ser obtidas experimentalmente por meio dos métodos dinâmico e estático (CORRÊA et al., 2005).

Sementes ricas em óleo, como o algodão e amendoim, 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 e JORGE (1987), para sementes de amendoim (alto teor de lipídios), que apresentaram menor umidade de equilíbrio quando comparadas com as sementes de arroz, milho, soja e trigo, a uma mesma temperatura.

O estudo do equilíbrio higroscópico de distintos produtos agrícolas tem sido estudado por vários pesquisadores, que descrevem modelos diferentes para expressar o teor de água de equilíbrio em função da temperatura e da umidade relativa do ar (CHEN &

JAYAS, 1998; CORRÊA et al., 1998; CHEN, 2000; OLIVEIRA et al., 2004; iGINER & GELY, 2005; RESENDE et al., 2006; FRANCISCO et al., 2007; GONELI, 2008; BASTOS, 2009).

Ante a importância do conhecimento da higroscopicidade dos produtos agrícolas objetivou-se determinar o equilíbrio higroscópico das sementes de algodão Topázio e amendoim Havana para diversas condições de temperatura e atividades de água e ajustar diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais selecionando-se aquele que melhor o represente.

II. 2-MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas da Universidade Federal de Campina Grande- UFCG. Foram utilizadas sementes de algodão Topázio e amendoim Havana ambas adquiridas na Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias – Embrapa.

Utilizou-se sementes com teores de água de 4, 8, 12, 14 e 16% b.u. nas temperaturas de 15, 20, 30 e 40 °C.

O aparelho utilizado para determinar os valores do equilíbrio higroscópico das sementes de algodão e amendoim foi o Aqualab (Figura II.1), que é um equipamento exclusivo para se determinar a atividade de água (A_w). Neste aparelho a temperatura é controlada e alcança a escala que varia de 15 °C a 40 °C, com variações $\pm 0,5$ °C.

De início, triturou-se manualmente aproximadamente 1,5g de sementes para cada teor de água desejado. As amostras foram colocadas uma a uma em célula específicas do aparelho Aqualab até que cobrissem totalmente o fundo da célula até a marca indicada, em seguida foi colocada no aparelho para ser realizada a leitura. Ajustou-se a temperatura para 40 °C e foram feitas todas as leituras para as sementes com 4, 8, 10, 12 e 14% b.u, repetindo-se este procedimento, ajustando o aparelho nas outras temperaturas estudadas de 30, 20 e 15 °C.



FIGURA II.1 – Aparelho utilizado para determinar a atividade de água.

II.2.1 Equações para o equilíbrio higroscópico

Aos dados experimentais dos teores de água de equilíbrio das sementes de algodão e amendoim determinados para a temperatura de 15, 20, 30 e 40°C, foram ajustados os modelos matemáticos de Copace, Sabbah, Sigma-Copace e Henderson modificado por

Cavalcanti Mata frequentemente utilizados para representação da higroscopicidade de produtos agrícolas, cujas equações estão apresentadas na Tabela II.1

Os dados amostrais de umidade de equilíbrio higroscópico, determinados para a temperatura de 15, 20, 30 e 40 °C, foram ajustados através dos modelos matemáticos conforme Tabela abaixo. Obteve-se a superfície de resposta para a espécie com o emprego da regressão não linear pelo método Quasi-Newton, utilizando o programa computacional STATISTICA 7.0®.

TABELA II.1 Modelos matemáticos utilizados para o ajuste dos dados experimentais.

Nome	Equação
COPACE	$X_e = \exp[a - (bT) + (cA_w)]$
SABBAH	$X_e = a(A_w^b / (T^c))$
SIGMA-COPACE	$X_e = \exp\{(a - (bT) + [c \exp(A_w)])\}$
HENDERSON modif. CAVALCANTI MATA	$X_e = \{\ln(1 - A_w) / [-a(T^b)]\}^{1/c}$

Em que,

X_e – teor de água de equilíbrio, %b.u
 A_w – atividade de água, adimensional;
 T – temperatura, °C;
 a, b, c – constantes das equações;

Para selecionar o modelo que melhor se ajustou à espécie foram considerados os seguintes parâmetros estatísticos: coeficiente de determinação ajustado (R^2); a magnitude do erro médio relativo (P) e do erro médio estimado (SE) Equação (II.1 e II.2).

$$P = \frac{1}{n} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (\text{II.1})$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GRL}} \quad (\text{II.2})$$

Em que,

n – número de observações

Y – valor experimental

Ŷ – valor calculado

GRL – grau de liberdade

O grau de ajuste dos modelos matemático aos dados experimentais, baseou-se na magnitude do coeficiente de determinação ajustado (variância explicada), na magnitude dos erros médios relativos e estimados e na análise do comportamento da distribuição dos resíduos.

II.3-RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela II.2 apresenta os parâmetros dos modelos ajustados aos valores de teor de água de equilíbrio higroscópico para as sementes algodão Topázio e amendoim Havana para diferentes condições de temperatura e atividade de água.

TABELA II.2 - Coeficientes dos modelos ajustados aos teores de água de equilíbrio higroscópico para as sementes de algodão e amendoim, com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), erros médios relativos (P), erros médios estimados (SE).

SEMENTES DE ALGODÃO						
MODELOS	COEFICIENTES			R^2	P (%)	SE
	a	b	c			
COPACE	-4,00776	0,004177	2,549396	93,945	0,1708	0,0466
HENDERSON. Modificado CAVALCANTI MATA	0,265893	0,156931	0,372233	98,671	0,0924	3,1680
SABBAH	0,275528	1,860627	0,108160	95,144	0,1549	0,0419
SIGMA-COPACE	-4,66438	0,004237	1,202342	92,950	0,1817	0,0502
SEMENTES DE AMENDOIM						
MODELOS	COEFICIENTES			R^2	P (%)	SE
	a	b	c			
COPACE	0,401155	0,004047	2,780701	93,61	0,1298	4,5401
SABBAH	27,01087	1,934160	0,097639	96,08	0,1151	3,8556
SIGMA-COPACE	-0,474574	0,004341	1,381915	90,52	0,14075	5,1171

Observa-se, na Tabela II.2, que a equação com base no modelo de Henderson modificada por Cavalcanti Mata foi a que melhor se ajustou aos dados experimentais de equilíbrio higroscópico das sementes de algodão, com coeficiente de determinação ajustado de 98,671%, o erro médio relativo foi de 0.0924, porém o erro médio estimado foi de 3.168, analisando ainda a mesma tabela, verifica-se que para as sementes de amendoim o modelo que se mostrou o mais adequado para fornecer estimativas satisfatórias foi o de Sabbah, com coeficiente de determinação ajustado de 93,08%, erro médio relativo de 0.1151 e erro médio estimado de 3.8556.

Apesar de várias teorias tenham sido propostas para prognosticar o comportamento higroscópico de produtos agrícolas, segundo afirmações de CORRÊA e ALMEIDA (1999), as relações empíricas têm-se mostrado as melhores opções para prever a higroscopicidade desses produtos, apesar de sua validade estar restrita às condições sob as quais os dados experimentais foram obtidos.

Nas figuras II.2 a II.8, encontram-se a distribuição dos resíduos dos 5 (cinco) modelos propostos para representar o teor de água de equilíbrio higroscópico das sementes de algodão e amendoim, obtidos com base na diferença entre os valores experimentais e os valores calculados.

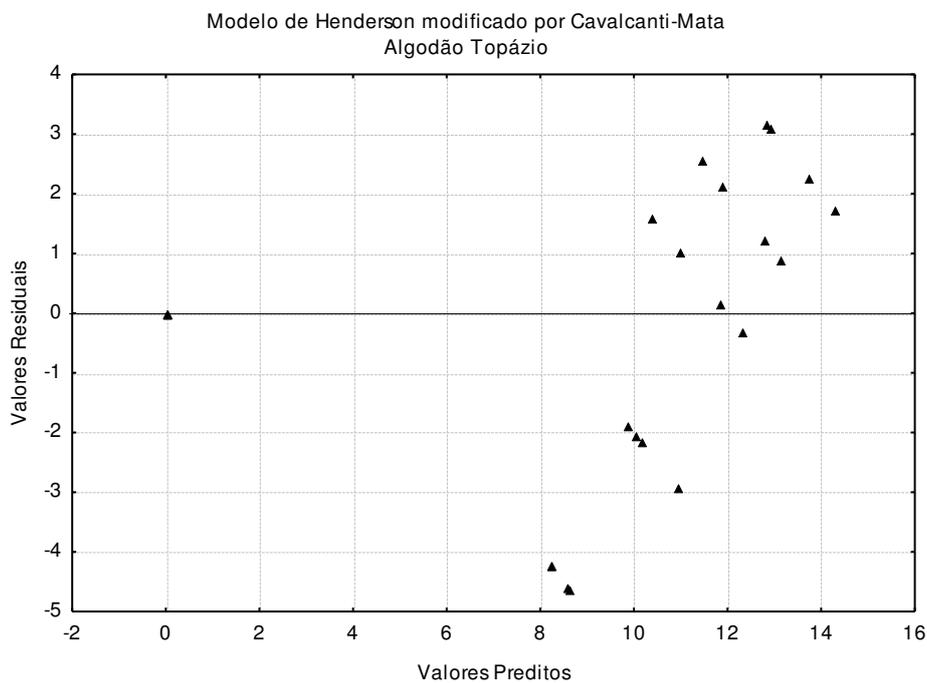


FIGURA II.2- Distribuição dos resíduos para o modelo de Henderson modificado por Cavalcanti-Mata utilizado nos dados das sementes de algodão.

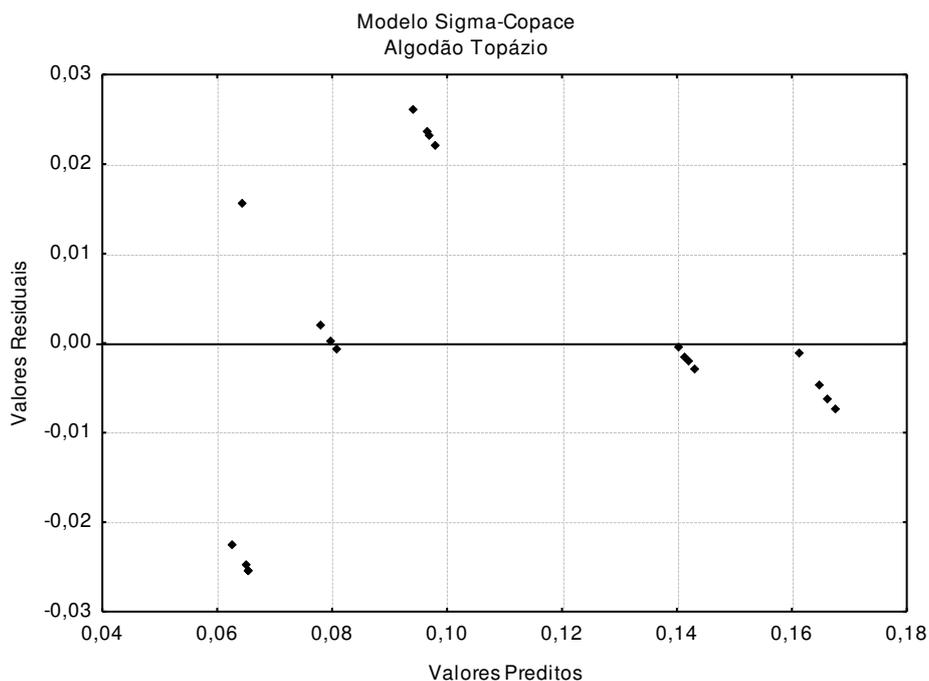


FIGURA II.3- Distribuição dos resíduos para o modelo de Sigma-Copace utilizado nos dados das sementes de algodão.

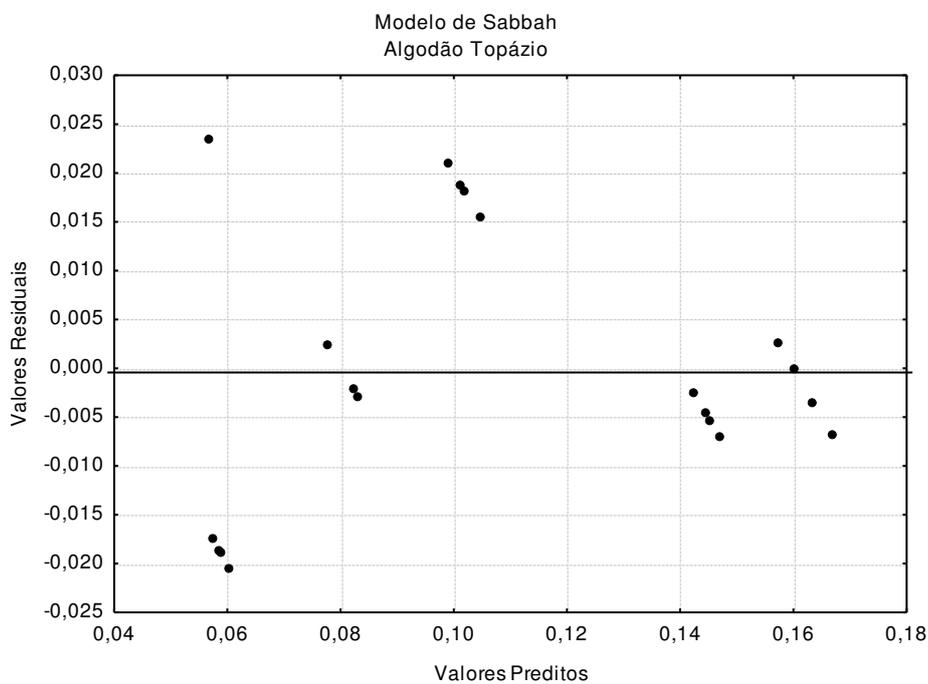


FIGURA II.4- Distribuição dos resíduos para o modelo de Sabbah utilizado nos dados das sementes de algodão.

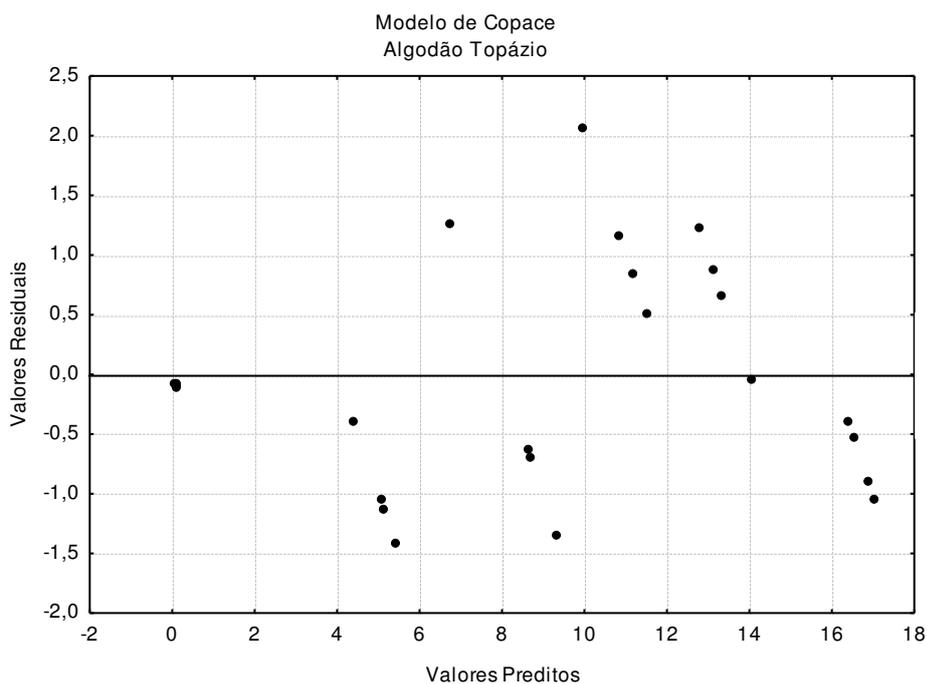


FIGURA II.5- Distribuição dos resíduos para o modelo de Copace utilizado nos dados das sementes de algodão.

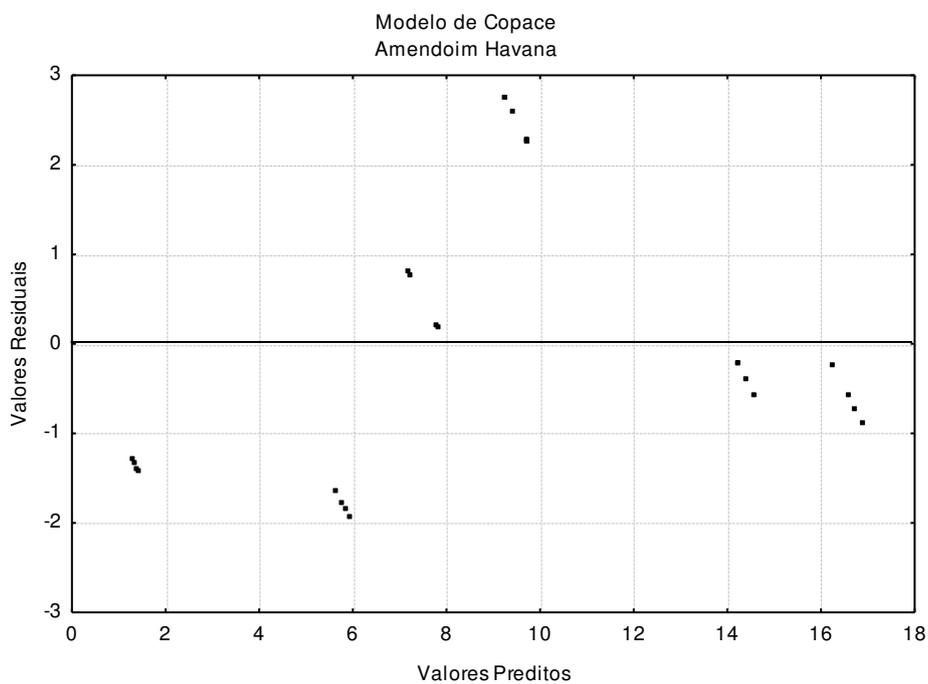


FIGURA II.6- Distribuição dos resíduos para o modelo de Copace utilizado nos dados das sementes de amendoim.

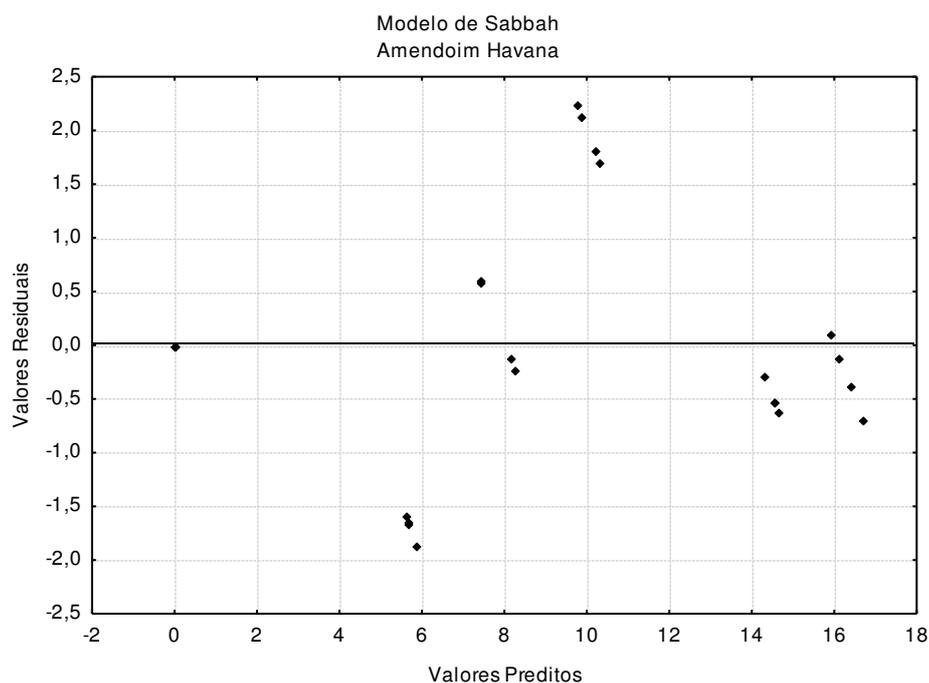


FIGURA II.7- Distribuição dos resíduos para o modelo de Sabbah utilizado nos dados das sementes de amendoim.

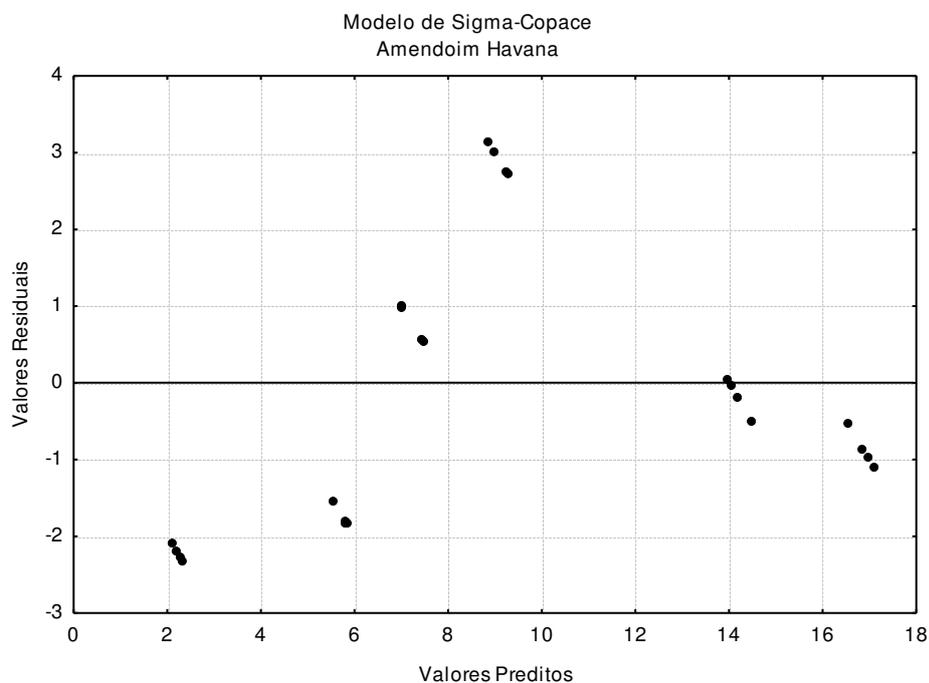
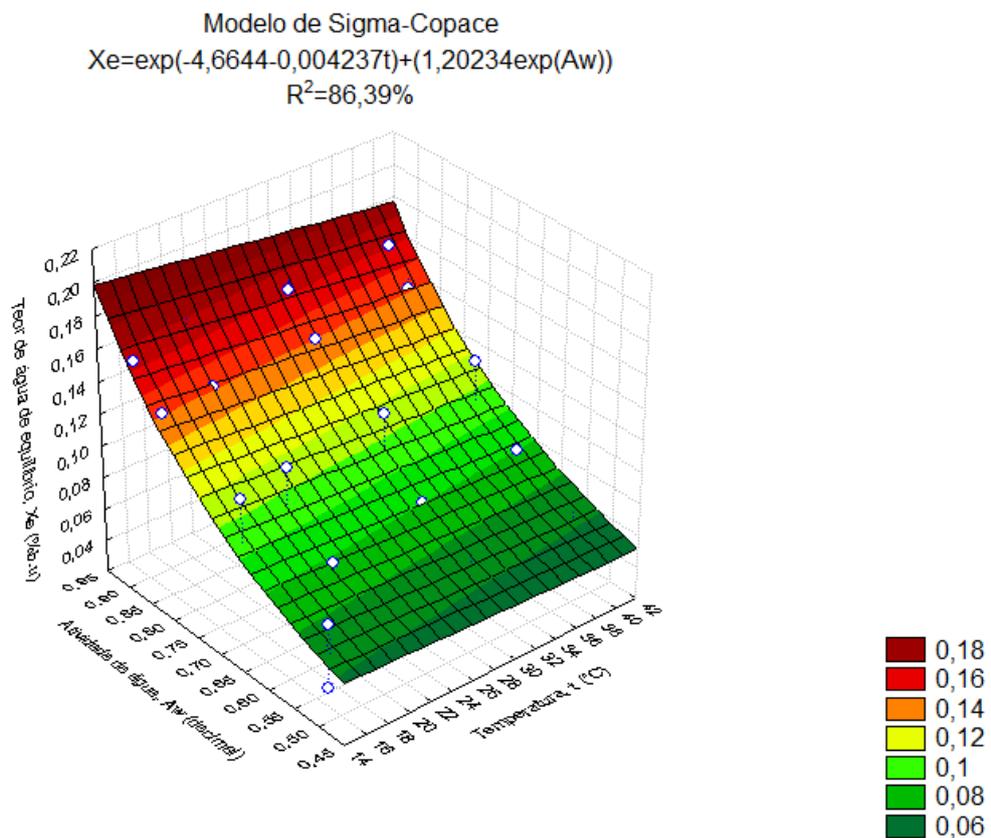


FIGURA II.8- Distribuição dos resíduos para o modelo de Sigma-Copace utilizado nos dados das sementes de amendoim.

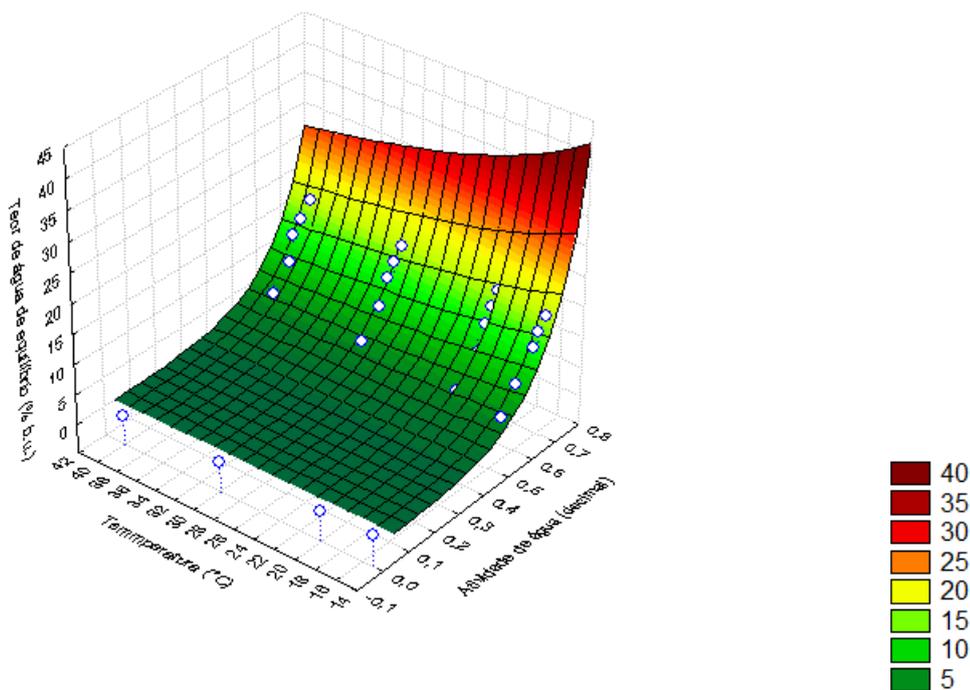
Nessas figuras observa-se que tanto para as sementes de algodão quanto para as de amendoim todos os resíduos dos modelos propostos apresentam um comportamento tendencioso.

Nas Figuras II.9 a II.15 encontram-se os gráficos em que se comparam os valores de teores de água de equilíbrio experimental e os estimados, pelos modelos matemáticos estudados que representaram o comportamento higroscópico das sementes estudadas em função da atividade de água das sementes e da temperatura. Observando as mesmas figuras, verifica-se que, apesar do bom ajuste dos dados, ocorreu um pequeno desvio entre os valores experimentais e os estimados.



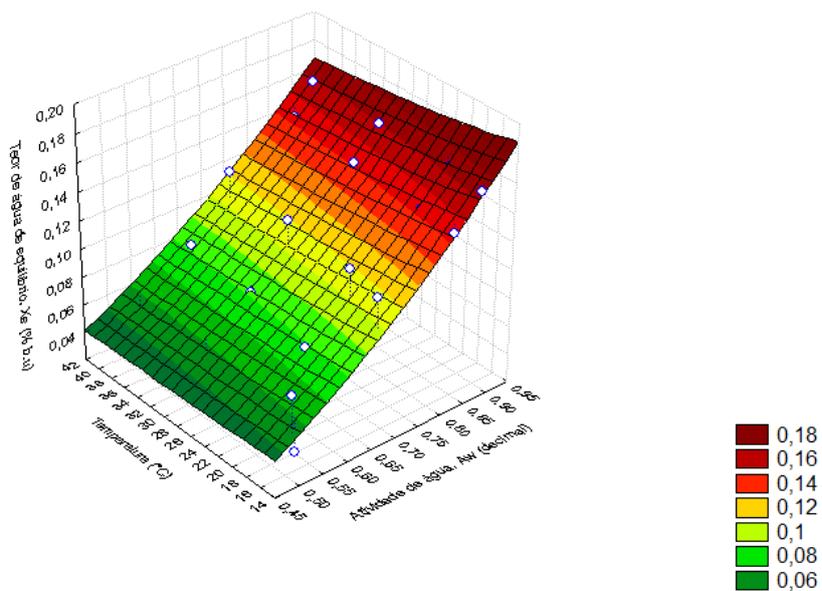
FIGURAS II.9 – Valores experimentais e estimados do teor de água de equilíbrio para as sementes de algodão, utilizando-se o modelo de Copace.

Modelo de Henderson modif. por Cavalcanti Mata
 $X_e = (\ln(1 - A_w)) / (-0,265893) T^{0,156931} / 0,372233$;
 $R^2 = 97,85\%$



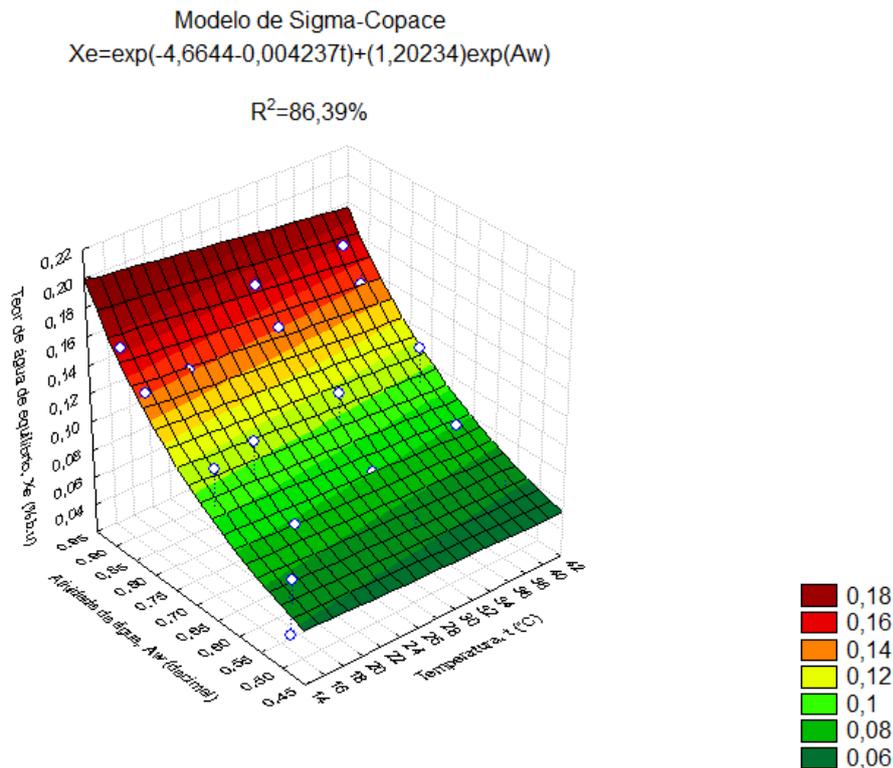
FIGURAS II.10 – Valores experimentais e estimados do teor de água de equilíbrio para as sementes de algodão, utilizando-se o modelo de Henderson modificado por Cavalcanti Mata.

Modelo de Sabbah
 $X_e = 0,275528 A_w^{1,86063} / t^{0,10816}$
 $R^2 = 90,52\%$

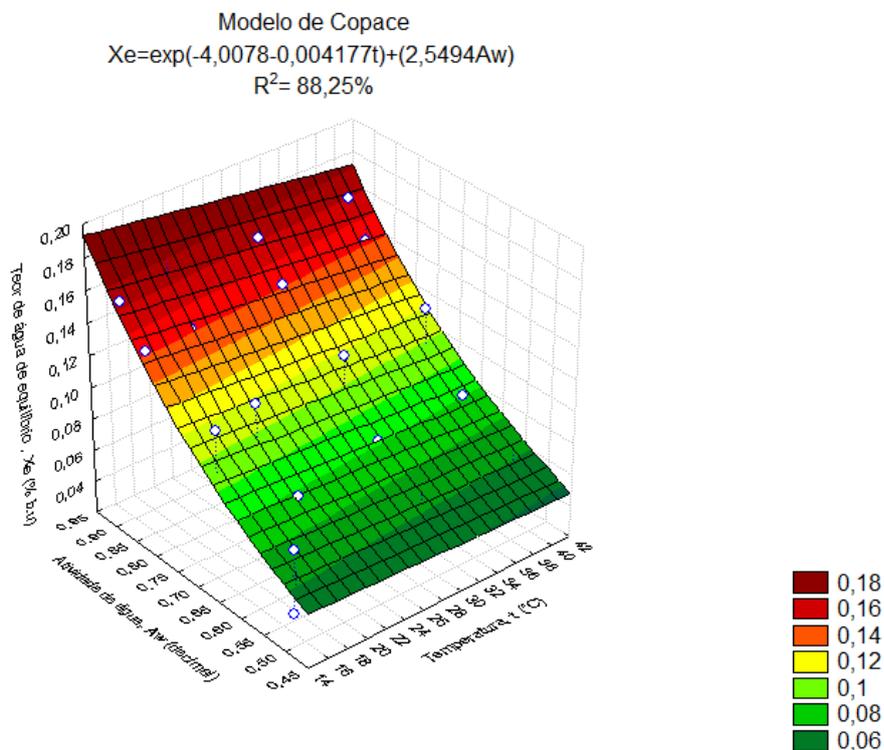


FIGURAS II.11 – Valores experimentais e estimados do teor de água de equilíbrio para as sementes de algodão, utilizando-se o modelo de Sabbah

Capítulo II - Atividade de água de sementes de algodão topázio e amendoim havana em função do teor de água

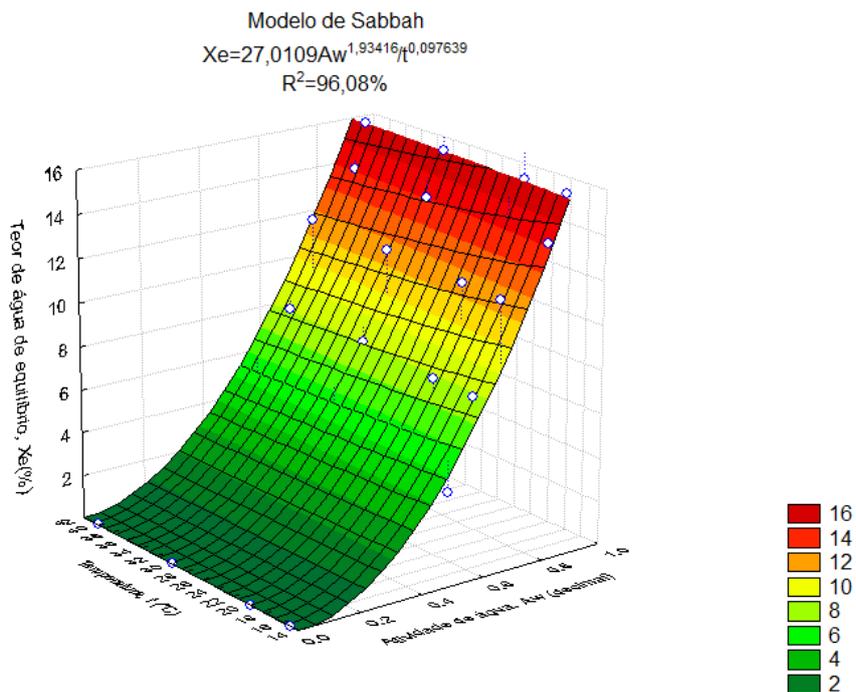


FIGURAS II.12 – Valores experimentais e estimados do teor de água de equilíbrio para as sementes de algodão, utilizando-se o modelo de Sigma-Copace

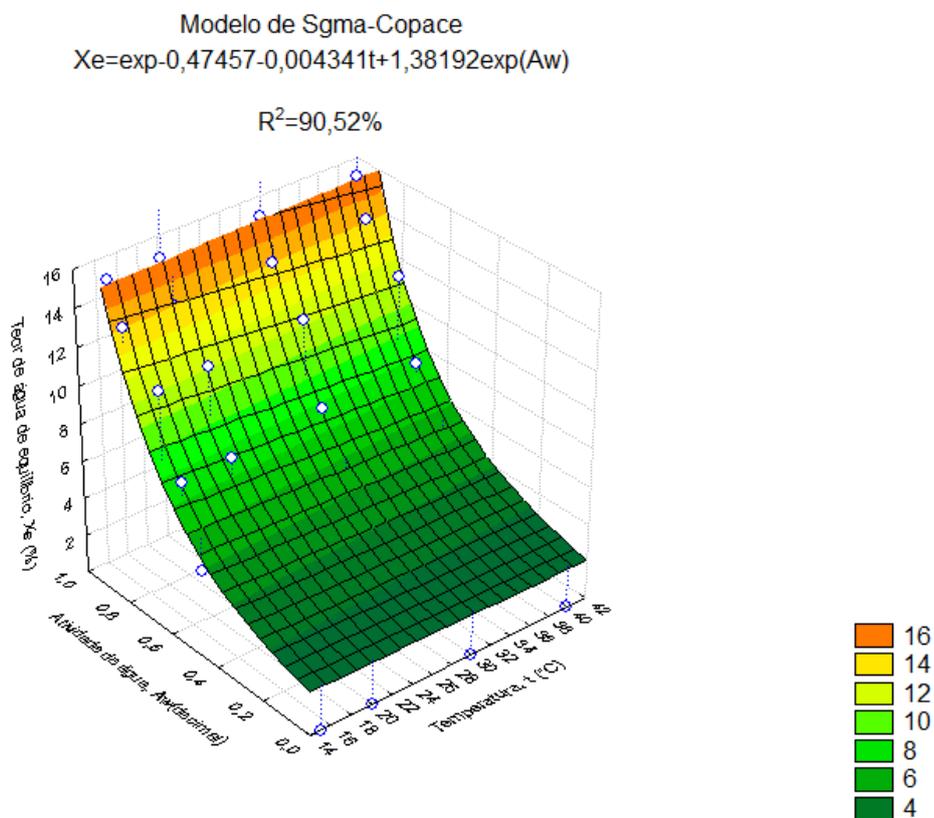


FIGURAS II.13 – Valores experimentais e estimados do teor de água de equilíbrio para as sementes de amendoim, utilizando-se o modelo de Copace

Capítulo II - Atividade de água de sementes de algodão topázio e amendoim havana em função do teor de água



FIGURAS II.14 - Valores experimentais e estimados do teor de água de equilíbrio para as sementes de amendoim, utilizando-se o modelo de Sabbah.



FIGURAS II.15 - Valores experimentais e estimados do teor de água de equilíbrio para as sementes de amendoim, utilizando-se o modelo de Sigma-Copace

Mediante essas figuras, tem-se que para as sementes de algodão o melhor ajuste se deu para o modelo de Henderson modificado por Cavalcanti Mata, resultado semelhante foi observado por ALMEIDA et al. (2000) que ao estudarem as isotermas de adsorção de sementes de algodão da CNPA-5M também verificaram que esse modelo também se ajustou de forma satisfatória, já para as sementes de amendoim, constata-se que o modelo mais adequado para ajustar os dados foi o de Sabbah.

A metodologia de superfície de resposta é útil para modelar e analisar aplicações em que a resposta de interesse é influenciada por duas variáveis. Com base na análise das Figuras II.3 a II.9, é verificado graficamente a função que mede o equilíbrio higroscópico definida como $f(T, A_w)$ que representa a função dos níveis que são a temperatura e a atividade de água do produto dando como variável resposta, o teor de água de equilíbrio da semente que é obtido como uma superfície no espaço tridimensional.

Para ambos os modelos, ao fixar um valor do teor de água de equilíbrio higroscópico do algodão Topázio e do amendoim Havana observa-se que este é diretamente proporcional à atividade de água e decresce com o aumento de temperatura, para um mesmo valor de umidade relativa de equilíbrio.

Analisando ainda as curvas de equilíbrio higroscópico sabe-se que a mesma possuem três regiões, que correspondem aos diferentes tipos de água ligada que ocorrem nos tecidos; em baixo teor de água, a água nas sementes é mantida por ligações muito fortes enquanto que, para teores de água intermediários e altos, a água é mantida por ligações fracas e a água multimolecular (VERTUCCIE LEOPOLD, 1987). Sementes ricas em óleo apresentam teor de água de equilíbrio mais baixos em relação às sementes amiláceas.

Diversos trabalhos já foram realizados com o objetivo de se determinar o equilíbrio higroscópico de diversas sementes como o de FIRMINO et al. (2006) para sementes de mamona, BORGES et al. (2009) ao estudar sementes de angico vermelho, RUSCIOLELLI et al. (2011) para sementes de urucum, ALMEIDA et.al (2012) com sementes de feijão adzuki, CAETANO et al. (2012) para sementes de caju-de-árvore-do-cerrado, entre outros.

II. 4-CONCLUSÕES

O teor de água de equilíbrio higroscópico do algodão Topázio e do amendoim Havana são diretamente proporcional à atividade de água e decresce com o aumento de temperatura, para um mesmo valor de umidade relativa de equilíbrio.

O modelo de Henderson modificado por Cavalcanti-Mata foi selecionado para representar a higroscopicidade das sementes de algodão e o modelo de SABBAAH representou melhor os dados para as sementes de amendoim.

A equação proposta por Sabbah foi a que melhor representou os dados experimentais das sementes de amendoim Havana em comparação com os modelos de Copace e Sigma-Copace.

II.5-REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. de 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. **Rev. ol. fibros.**, Campina Grande, v.4, n.3, p.225-234, ago-dez. 2000.

ALMEIDA, D. P.;RESENDE, O.; COSTA, L. M., MENDES, U. C. ;OLIVEIRA, D. Calor isostérco de dessorção das sementes de feijão adzuki. **I Congresso de Pesquisa e Pós-Graduação do Câmpus Rio Verde do IFGoiano**. 06 e 07 de novembro de 2012.

BASTOS, S. M. C. **Propriedades termodinâmicas de adsorção de água de dois genótipos de arroz vermelho**. 2009, 72p. Dissertação Mestrado. Anápolis: Universidade Estadual de Goiás, 2009.

BENEDETTI, B.C.; JORGE, J.T. Curvas de umidade de equilíbrio de vários grãos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.7, n.2, p.172-188, 1987.

BORDIGNON, B.C.S.; **Relação das condições de armazenamento com a qualidade fisiológica de sementes e composição do óleo extraído de cultivares de soja**. Dissertação (mestrado em agronomia), Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria - RS, 2009.

BORGES, S.; BORGES, E.E. de L. e, CORREA, P.C.; BRUNE, A. Equilíbrio higroscópico e viabilidade de sementes de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speng) em diferentes condições ambientais de armazenamento. **Sci. For., Piracicaba**, v. 37, n. 84, p. 475-481, dez. 2009.

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

CAETANO, G. de S., SOUSA, K. A. de; RESENDE, O.; SALES, J. de F.; COSTA, L. M.; Higroscopicidade de sementes de caju-de-árvore-do-cerrado. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 42, n. 4, p. 437-445, out./dez. 2012

CHEN, C.; JAYAS, D. S. Evaluation of the GAB equation for the isotherms of agricultural products. **Transactions of the ASAE**, v.41, p.1755-1760, 1998.

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

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

CORRÊA, P. C.; MARTINS, J. H.; CHRIST, D.; MANTOVANI, B. H. M. Curvas de desorção e calor latente de vaporização para as sementes de milho pipoca (*Zea mays*). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, p.75-79, 1998.

CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; RESENDE, O.; MARTINAZZO, A. P.; BOTELHO, F. M. Comparação entre os métodos estático e dinâmico na determinação do equilíbrio higroscópico das espigas de milho. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, V.7, P.153-161, 2005.

FIRMINO, P.de T.; SILVA, V. S.; GALDINO, G. Atividade de água para conservação das sementes de mamona. 2º Congresso Brasileiro da Mamona, Aracaju, 2006.

FRANCISCO, F. G.; USBERTI, R.; TONELI, J. T. C. L. Ajuste de isotermas de sorção de sementes de feijoeiro. **Revista Brasileira de Sementes**, v.29, p.35-39, 2007.

GINER, S. A.; GELY, M. C. Sorptional parameters of sunflower seeds of use in drying and storage stability studies. **Biosystems Engineering**, v.92, p.217-227, 2005.

GONELI, A. L. D. **Variação das propriedades físicas-mecânicas e da qualidade da mamona (*Ricinus communis* L.) durante a secagem e o armazenamento.** 2008 186p. Tese Doutorado Viçosa: UFV, 2008.

OLIVEIRA, J. R.; CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M. Isotermas de dessorção de grãos de feijão macassar verde (*Vigna unguiculata* (L.) Walpers), variedade sempreverde. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.6, p.61-70, 2004

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C; GONELI, A. L. D.; RIBEIRO, D. M. Isotermas e calor isostérico de sorção do feijão. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.26, p.626-631, 2006.

RUSCIOLELLI, L. B.; COSTA, A. O. S. da, COSTA, E. F. da Jr. Determinação da curva de equilíbrio higroscópico do urucum. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.7, n.13, 2011.

STATSOFT, INC. Programa computacional Statistica 7.0. E.A.U. 2004.

VERTUCCI, C.W.; LEOPOLD, A.C. Water binding in legume seeds. **Plant Physiology**, Rockville, v.85, n.85, p. 224-231, 1987.

CAPÍTULO III –
CURVAS DE CONGELAMENTO DE SEMENTES DE ALGODÃO
TOPÁZIO E AMENDOIM HAVANA

CURVAS DE CONGELAMENTO DE SEMENTES DE ALGODÃO TOPÁZIO E AMENDOIM HAVANA

III-RESUMO

Durante o congelamento de um produto, este passa por vários estágios com o decorrer do tempo atingindo diferentes regiões, sendo que a maior velocidade de congelamento é obtida na superfície e é mais lenta próxima ao seu centro. Esta velocidade é dependente de vários fatores, tais como, método de congelamento, tamanho do produto, composição química, teor de água entre outros. O objetivo deste trabalho foi determinar o comportamento das curvas de congelamento de sementes de algodão Topázio e amendoim Havana com diferentes teores de água (4, 6, 8, 10, 12, e 14% b.u.) e em diferentes temperaturas (-25, -60, -150 e -196 °C). As curvas obtidas, principalmente nas temperaturas de -25, -45 e -150 °C, apesar da maior similaridade com as curvas de resfriamento, apresentam, ainda que de forma discreta, as três fases características da curva de congelamento da água pura. Com relação à difusividade térmica efetiva, concluiu-se que esta aumenta com o aumento do teor de água, e não apresenta um comportamento simétrico com a oscilação da temperatura.

PALAVRAS-CHAVE: congelamento, resfriamento, difusividade térmica

CURVES OF FREEZING OF COTTON SEEDS TOPAZ AND PEANUT HAVANA

III-ABSTRACT

During the freezing a product, it passes through various stages over time with different hitting areas , and the higher speed of freezing is obtained on the surface and is slower near its center. This speed is dependent on several factors , such as freezing method , product size, chemical composition , water content among others . The objective of this study was to determine the freezing curves cottonseed and peanuts Topaz Havana with different water contents (4.8, 10 , 12 , and 14 % wb) and at different temperatures (-25 , -60 , -150 and -196 ° C). The curves , especially at temperatures of -25 , -45 and -150 ° C , despite the greater similarity with the cooling curves , present , albeit discreetly , the three characteristic phases of the curve freezing of pure water . With respect to the effective thermal diffusivity , it was concluded that this increases with increasing water content, and shows a symmetrical oscillation behavior with the temperature.

KEYWORDS : freezing , cooling , thermal diffusivity

III.1-INTRODUÇÃO

A semente é a forma pela qual a planta sobrevive o máximo de tempo com o mínimo de atividade fisiológica. Na conservação de sementes, deve-se levar em consideração às características fisiológicas que comprometem a longevidade de cada espécie quando submetidas a baixos níveis de umidade e temperatura abaixo de zero. Uma maneira de manter a aceitabilidade e a qualidade de alguns produtos agrícolas armazenados por um período extenso consiste na redução das taxas de transpiração e respiração, conseguida pela redução da temperatura através dos processos de congelamento.

Uma condição relevante do ponto de vista da conservação e da qualidade do produto é o próprio processo de congelamento. O estágio inicial de um processo de congelamento envolve o resfriamento do produto próximo ao seu ponto de fusão. Tal processo ocorre de maneira distinta nas soluções físicas e nos sistemas biológicos. A diferença principal consiste na constituição do tecido dos produtos. No tecido de plantas, por exemplo, o resfriamento rápido pode aumentar a permeabilidade da membrana. Neste caso, o processo de congelamento provoca a destruição das estruturas do tecido e a inibição do desenvolvimento dos processos biológicos, além das manifestações normais que são específicas das soluções (CAVALVANTI MATA, 2008).

De acordo com NEVES FILHO (1991) e CAVALCANTI MATA, (2008) durante o processo de congelamento, regiões diferentes do produto passarão por várias fases em diferentes tempos. A fase inicial corresponde ao resfriamento e se estende até o início a cristalização da água. Na etapa seguinte tem-se o congelamento, onde ocorre a mudança de fase da água para gelo. Por fim, o período de redução da temperatura na qual a maior parte da água já foi transformada em gelo até alcançar uma temperatura final.

Conforme as etapas do processo de congelamento progridem, ocorre o aumento da permeabilidade das membranas e, conseqüente formação de cristais de gelo. Esses cristais separam-se da solução e provocam a concentração cada vez maior do soluto na solução remanescente, fazendo com que haja uma depressão ainda maior no ponto de congelamento. MEDEIROS e CAVALLARI (1992) expõem que as injúrias causadas às células por ocasião do congelamento rápido possam ser devidas à formação de cristais de gelo no espaço confinado intracelular, que conduz à ruptura mecânica tanto da estrutura citoplasmática quanto da membrana plasmática, resultando na degradação celular.

Segundo CAVALCANTI MATA, (2008) para que se possa ter controle da formação dos cristais de gelo, é necessário o conhecimento dos mecanismos dos processos de congelamento que dependem da velocidade do congelamento. A velocidade de congelamento de um produto depende de distintos fatores, entre estes, o método de congelamento, tamanho do produto, composição química, propriedades físicas (densidade, calor específico e difusividade térmica) e do tipo de embalagem ou envoltório (GRUDA & POSTOLSKI 1986).

À medida que ocorrem esses processos de redução da temperatura no processo de congelamento, retardam-se consideravelmente os fenômenos promovidos pela ação de agentes deteriorantes como microrganismos, enzimas e reações químicas. Portanto, o estado de conservação da matéria-prima, manuseio e o método de resfriamento ou congelamento adotado irão influenciar na qualidade do produto final. (NEVES FILHO, 1991).

De acordo com CAVALCANTI-MATA (2008) existem sementes que não toleram o congelamento uma vez que perdem sua viabilidade durante este processo; no entanto, outras sementes toleram o congelamento e são ditas sementes passíveis de serem conservadas a baixas temperaturas. Nesse caso, torna-se indispensável conhecer as características da cinética de congelamento que possibilitam determinar os tempos necessários para que as sementes possam ser congeladas em diferentes temperaturas (BONOMO et al., 2009; BARBIN et al., 2010).

Com isso, objetivo neste trabalho foi obter as curvas de congelamento do sementes de algodão Topázio e amendoim Havana, nas temperaturas de -25, -60, -150 e -196 °C com teores de água de 4, 8, 10, 12 e 14% b.u como também determinar a difusividade térmica efetiva em temperatura.

III.2- MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas inicialmente, sementes de algodão Topázio e amendoim Havana com teor de água de 4, 6, 8, 10, 12 e 14% b.u. Essas sementes foram selecionadas manualmente, escolhendo aquelas que apresentavam tamanhos e formas semelhantes e aspecto saudável.

Foram realizadas três repetições para cada temperatura de congelamento: -196 (nitrogênio líquido), -150 (balcão criogênico), -60 e -25 °C. Dessa maneira foram obtidas as curvas de congelamento em 4 temperaturas em função do tempo.

Para proceder essa metodologia foi necessário efetuar um furo no centro geométrico de cada semente. Este centro geométrico foi determinado através dos valores de comprimento (a), largura (b) e espessura (c).

Para monitorar a temperatura no interior das sementes foi colocado um termopar conectado a um registrador, da mesma maneira, outro termopar foi afixado no interior do ambiente onde as sementes foram colocadas com as temperaturas desejadas com o intuito de verificar a temperatura de equilíbrio, ponto final do processo. As leituras foram feitas em intervalos regulares de 5 segundos.

Para a realização do tratamento matemático, foram tomados os dados experimentais das curvas de congelamento das sementes de algodão e amendoim, e foram obtidos os parâmetros fator de atraso (J) e difusividade térmica (α), utilizando-se a equação de Fourier de acordo com Plug e Blaisdell, citados por CAVALCANTI MATA et al., (2003) (Equações IV.1, IV.2 e IV.3).

$$RT = \frac{T - T_{\infty}}{T_0 - T_{\infty}} = J \cdot \exp(k * T) \quad (IV.1)$$

em que,

$$J = \frac{2 \cdot \text{sen} \mu_n - \mu_n \cdot \text{cos} \mu_n}{\mu_n - \text{sen} \mu_n \cdot \text{cos} \mu_n} \quad j = \frac{2 \cdot \text{sen} \mu_n - \mu_n \cdot \text{cos} \mu_n}{\mu_n - \text{sen} \mu_n \cdot \text{cos} \mu_n} \quad (\text{fator de atraso}) \quad (IV.2)$$

$$k = \frac{\mu_n \cdot \alpha}{r^2} \quad (IV.3)$$

em que,

RT- Razão de temperatura, adimensional

k – condutividade térmica, W.m⁻¹.°C

T – Temperatura em cada momento, °C

T_{∞} - Temperatura do meio de congelamento, °C

T_0 - Temperatura inicial do produto, °C

α – difusividade térmica, $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$;

μn – raiz transcendental;

r – raio da semente, mm

Para obtenção dos parâmetros das equações que regem as curvas de congelamento foi utilizado o método de regressão não-linear *Quasi-Newton*, empregando-se o programa computacional Statistica 7.0.

III.3- RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras III.1 a III.5 encontram-se as curvas de congelamento da semente de algodão e amendoim para as temperaturas de -25, -60, -150 e -196°C. Como se pode observar, nestas figuras, o comportamento das curvas de congelamento são semelhantes às curvas de resfriamento, pois, de acordo com KASAHARA *et. al* (1986) e SILVA (2002), produtos vegetais com conteúdos de água acima de 70 % b.u., tem três fases distintas.

A Fase I corresponde ao resfriamento do produto, que se inicia à temperatura ambiente indo até o início da temperatura de congelamento. Esse período é caracterizado por uma típica curva exponencial. A Fase II corresponde à fase de formação de gelo, caracterizada pelo congelamento do produto, onde a fração de água, que é a maior parte do produto, consome toda a energia para formar os cristais de gelo. Nessa fase, a curva característica é praticamente uma reta com pequena inclinação, pois, quase toda a energia é utilizada para formar os cristais de gelo. A Fase III corresponde ao pós-congelamento do produto, que consiste em baixar a temperatura do produto, já congelado, até temperaturas próximas a do meio de congelamento. Nessa fase a curva característica volta a ser uma exponencial.

As sementes de algodão e amendoim, devido a sua natureza oleaginosa, apresentam um conteúdo de água baixo, aproximadamente, 8% b.u. Desta forma, embora estas três fases, acima descritas, estejam presentes no processo de congelamento, não é possível distinguir, podendo-se dizer que o seu conteúdo de água não é suficiente para caracterizar essa curva de congelamento como uma curva de forma sigmoideal, tendo predominância da curva característica de matéria seca, que é uma curva exponencial.

Na Tabela III.1 constata-se o tempo gasto, em segundos, no congelamento das sementes de algodão e amendoim nos teores de água de 4, 8, 10, 12 e 14 % b.u nas temperaturas de -25, -60, -150 e -196 °C. Verifica-se que demanda mais tempo para se alcançar o estado final de congelamento, àquelas sementes com um teor de água mais elevado, e que o aumento da temperatura proporciona um congelamento mais rápido, comportamento este totalmente esperado.

TABELA III.1 – Tempo gasto (em segundos) para o congelamento das sementes de algodão e amendoim com teores de água de 4, 8, 10, 12 e 14% b.u nas temperaturas de -25, -60, -150 e -196 °C

Temperatura (°C)	Teor de água (% b.u)				
	4%	8%	10%	12%	14%
	Tempo (segundos) (ALGODÃO/AMENDOIM)				
-25	960/1000	1060/1100	1230/1400	1240/1590	1370/1600
-60	430/600	620/680	650/700	680/800	710/850
-150	190/310	200/400	210/450	230/580	300/610
-196	110/180	120/190	140/200	160/210	180/220

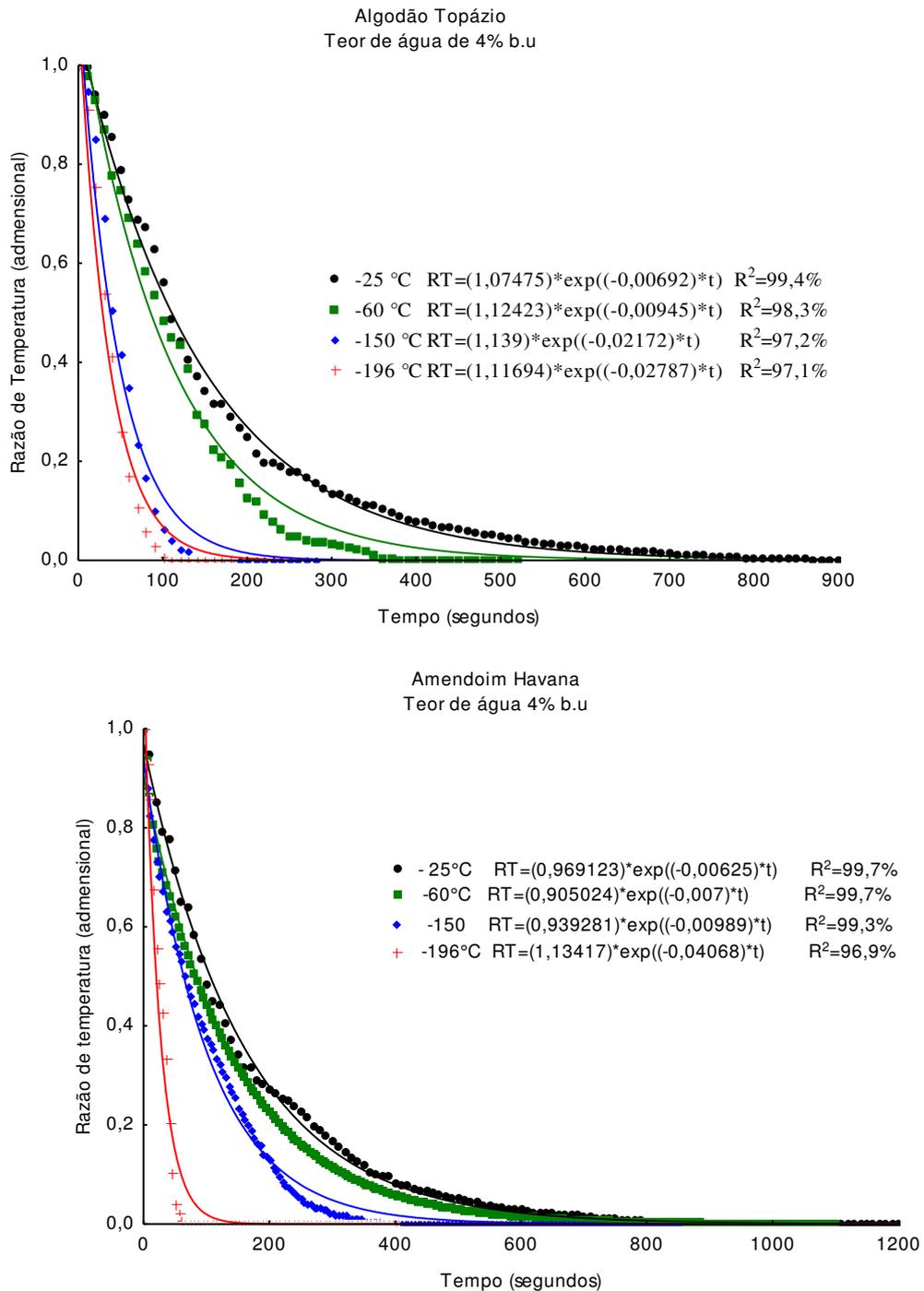


FIGURA III.1 - Curvas experimentais e calculadas de congelamento pela equação de Fourier, utilizando o 1º termo da série das sementes de algodão e amendoim com teor de água ajustado para 4% b.u

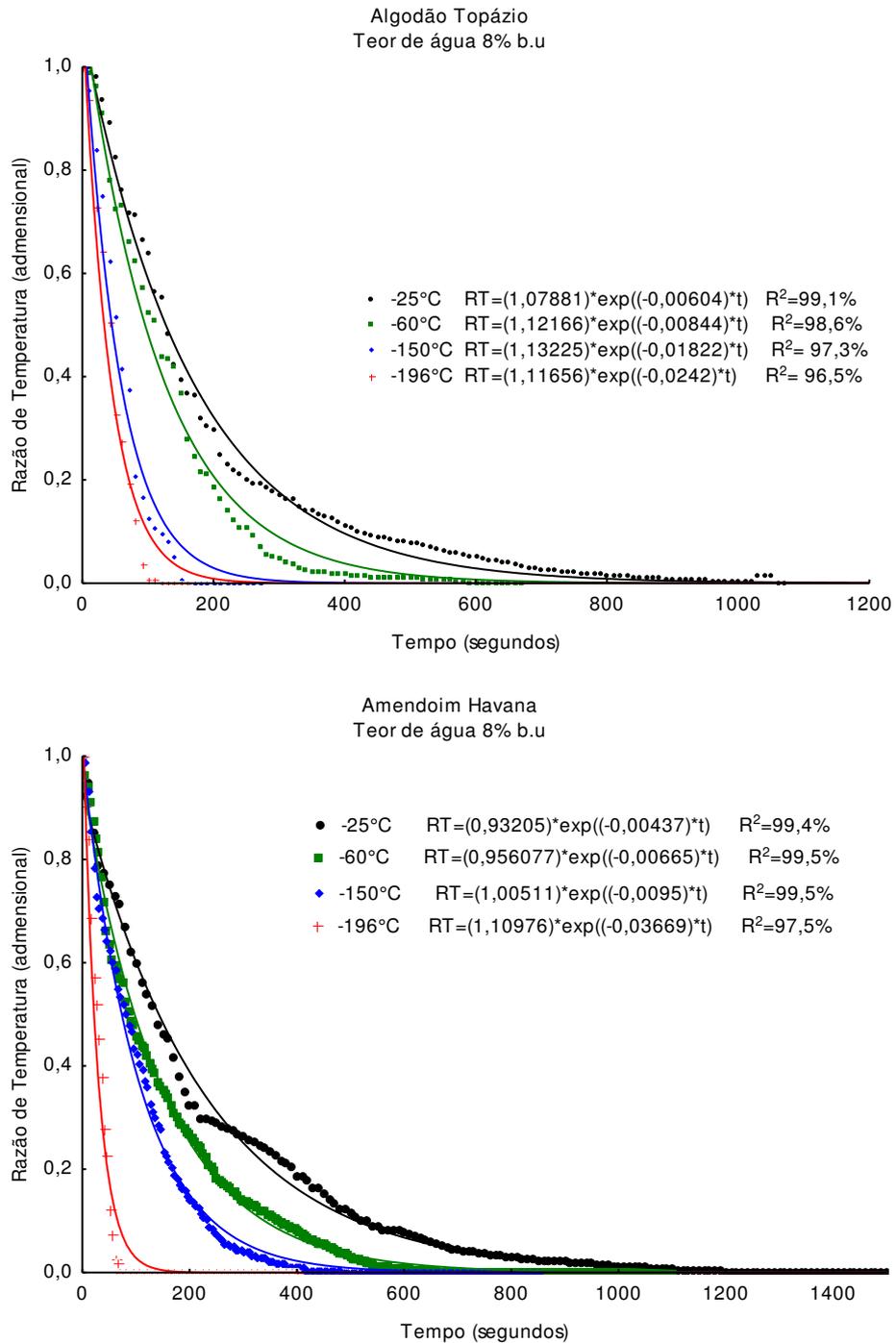


FIGURA III.2 Curvas experimentais e calculadas de congelamento pela equação de Fourier, utilizando o 1º termo da série das sementes de algodão e amendoim com teor de água ajustado para 8% b.u

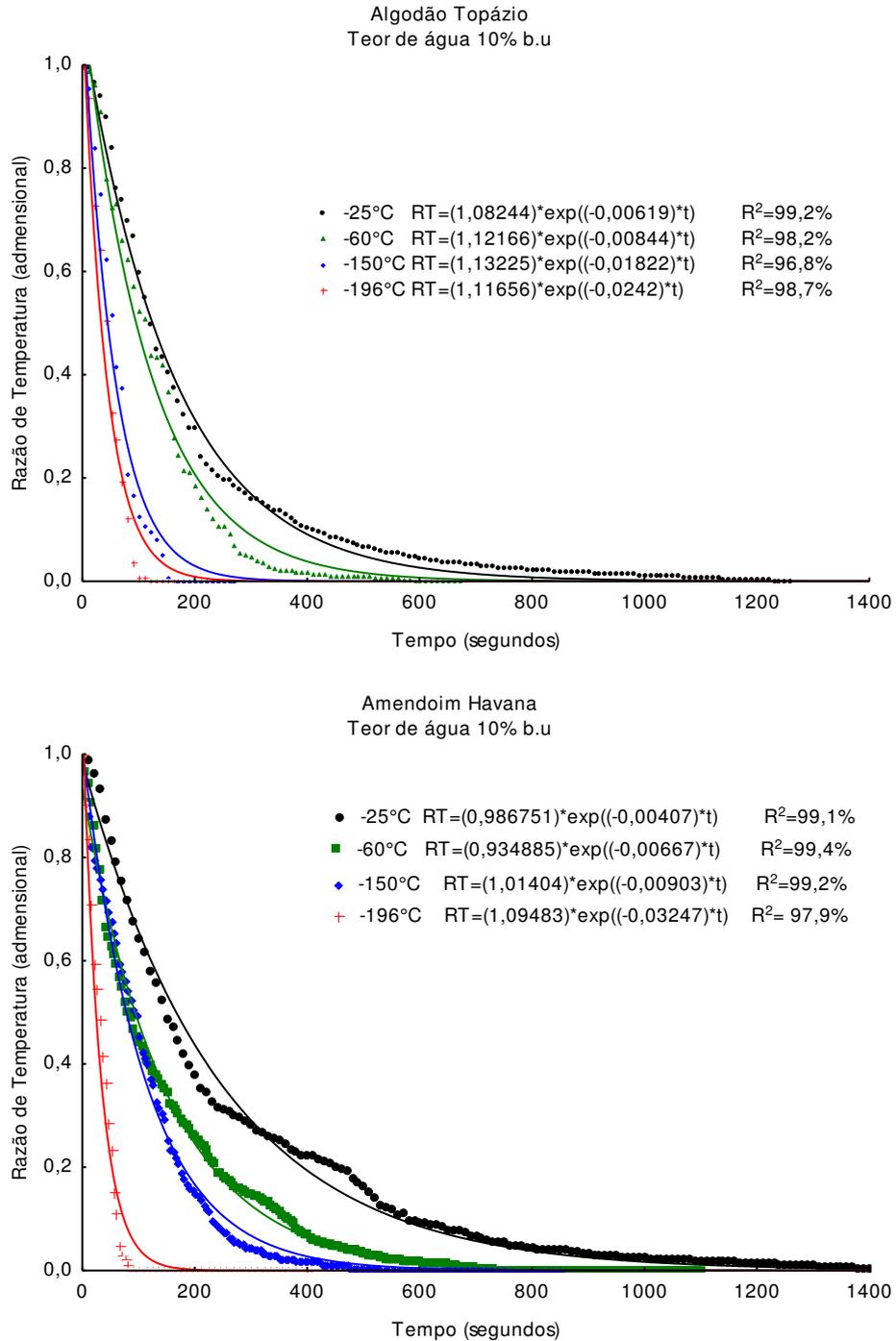


FIGURA III.3- Curvas experimentais e calculadas de congelamento pela equação de Fourier, utilizando o 1º termo da série das sementes de algodão e amendoim com teor de água ajustado para 10% b.u

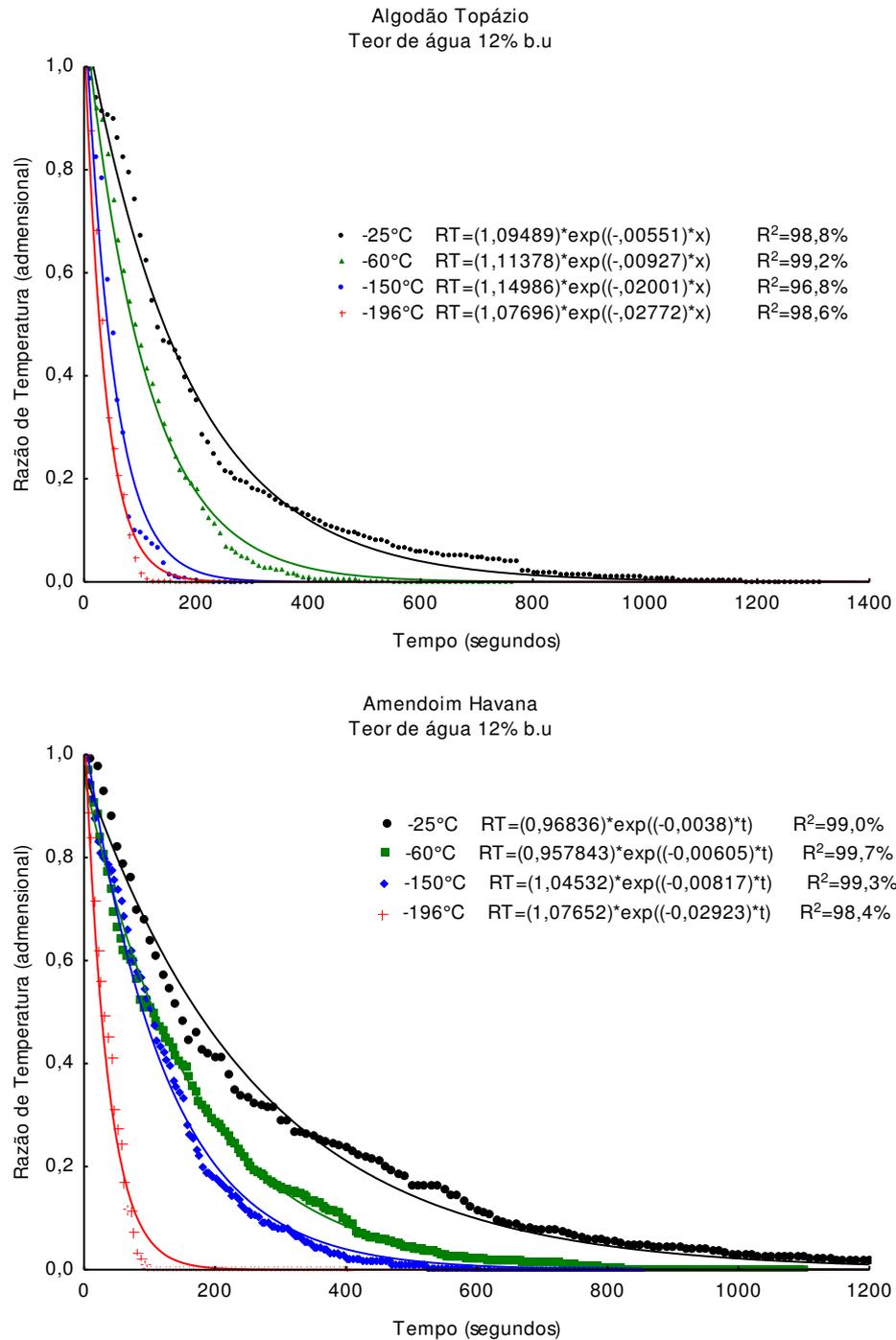


FIGURA III.4 - Curvas experimentais e calculadas de congelamento pela equação de Fourier, utilizando o 1º termo da série das sementes de algodão e amendoim com teor de água ajustado para 12% b.u

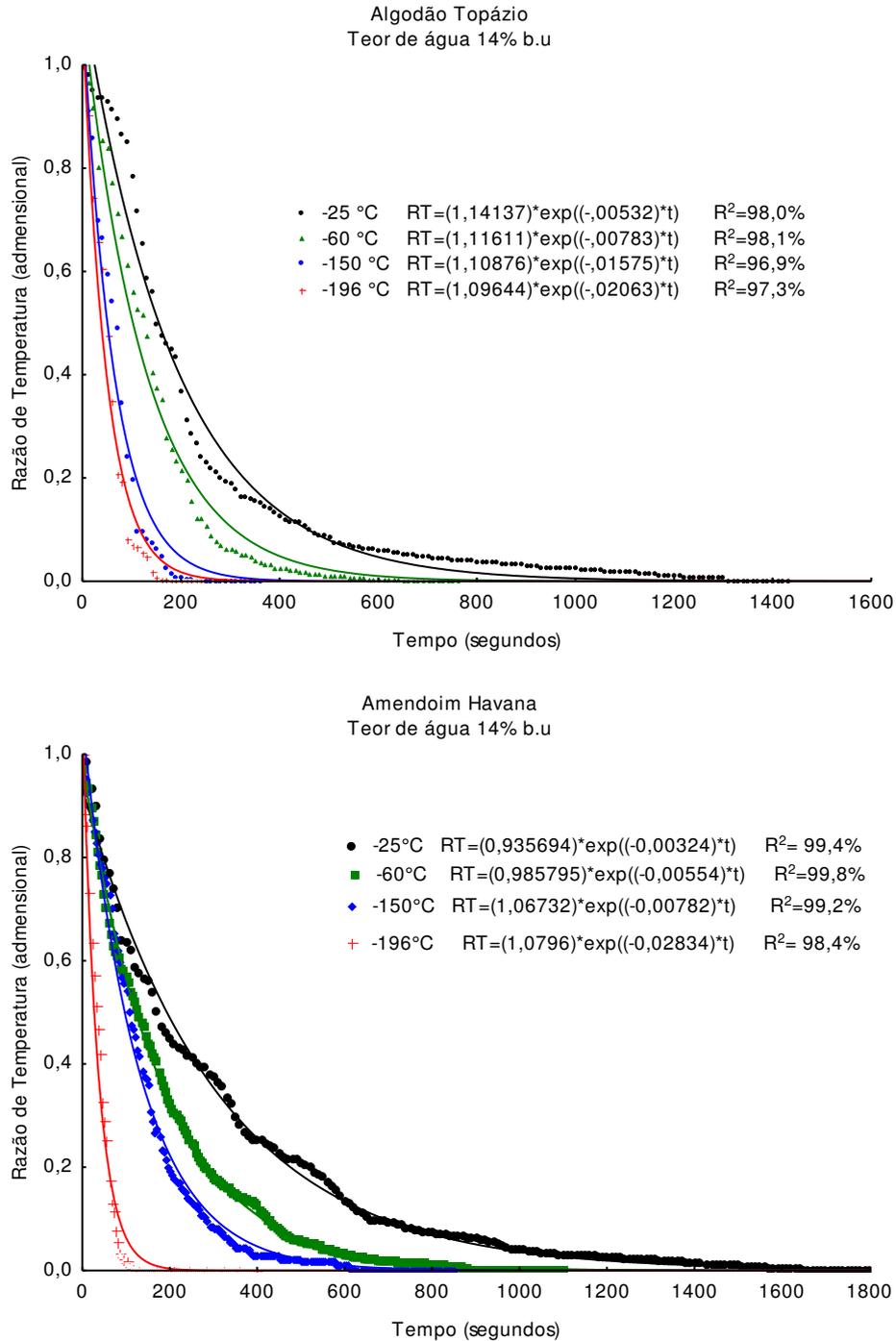


FIGURA III.5 - Curvas experimentais e calculadas de congelamento pela equação de Fourier, utilizando o 1º termo da série das sementes de algodão amendoim com teor de água ajustado para 14% b.u

Estes fatos podem ser mais bem ilustrados pelos dados da Figura III.6 e III.7, onde se encontram os valores de difusividade térmica efetiva das sementes de algodão e amendoim, respectivamente, para estas temperaturas, obtidas utilizando-se a equação de

Fick, empregando-se apenas o primeiro termo da série. Percebe-se por esta Figura que, como era de se esperar, a difusividade efetiva obtida para a temperatura de $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ é bem maior do que a obtida a -150 , -60 e $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, e que os ajustes foram obtidos com coeficientes de determinação, R^2 , satisfatórios, maiores do que 98%.

Ao estudar a criopreservação e cinética de congelamento de sementes de jatobá, FARIAS (2003), em seu estudo, também obteve curvas de congelamento a diferentes temperaturas (-30 , -150 , -170 e -196°C) com formas assemelhadas às curvas exponenciais e que as sementes de jatobá utilizadas no estudo, continham um teor de água inicial de aproximadamente 13%, próximo ao teor de água inicial das sementes aqui utilizadas.

Constata-se, ainda, que nas Figuras III.1 a III.5 as sementes de amendoim e algodão apresentaram comportamento semelhante, em todos os teores de água e em todas as temperaturas, refletindo o ajuste realizado para se obter os teores de água almejados, como também a escolha das sementes, quanto à forma e dimensões. FARIAS (2003) e COELHO (2006), observaram igual comportamento com a cinética de congelamento de sementes de jatobá e algodão, respectivamente.

A relação entre temperatura e difusividade térmica a diferentes conteúdos de água para as sementes de algodão e amendoim, é mostrada na Figura III.6 . Pode-se observar que para ambas as sementes estudadas, a difusividade térmica aumenta com o aumento do teor de água em todas as temperaturas. Para os valores dentro de um mesmo teor de água, observa-se uma oscilação destes valores, sem constituir um padrão definido de aumento ou diminuição, com a conseqüente variação da temperatura. Este comportamento provavelmente deve-se ao fato de que os valores de difusividade são dependentes de vários fatores, tais como dimensões das sementes, por exemplo.

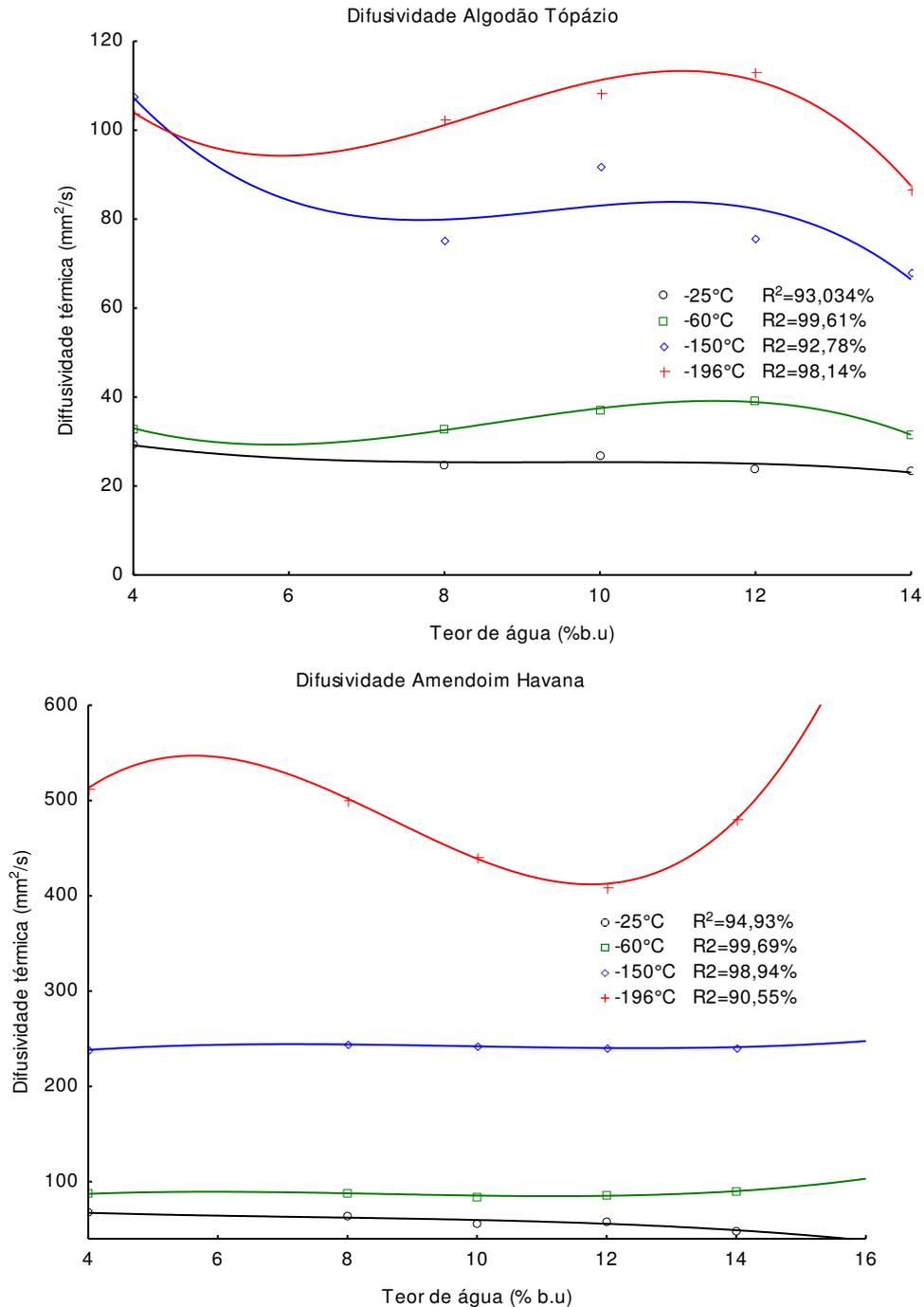


FIGURA III.6 – Variação da difusividade térmica de sementes de algodão e amendoim com a temperatura e o teor de água.

De acordo com GOLDFARB et al. (2010), a difusividade efetiva é mais elevada quando o produto é submetido a um gradiente térmico maior, ou seja, a difusividade térmica aumenta com a diminuição de temperatura. Esses mesmos autores verificaram o mesmo comportamento para as sementes de pinhão manso e concluíram que quanto maior o gradiente térmico maior a difusividade térmica nas sementes de pinhão manso.

Os dados de difusividade térmica efetiva em cada temperatura das sementes de algodão e amendoim estão contidos, respectivamente, nas Tabelas III.2 e III.3. Observa-se que os valores de difusividade térmica efetiva das sementes de algodão e amendoim obtidas através do modelo de Fourier aumentaram na medida em que se aumenta o gradiente de temperatura entre a amostra e o meio de congelamento. PIMENTEL (2009) determinou a difusividade térmica efetiva das sementes de girassol da variedade EMBRAPA 122V para as temperaturas de -170 °C e -196 °C encontrando os valores de $9,10579 \times 10^2 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ e $28,6019 \times 10^3 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, respectivamente.

TABELA III.2- Valores de difusividade térmica efetiva das sementes de algodão para temperaturas de -25, -60, -150 e -196 °C

Teor de água (%b.u.)	Temperatura (°C)	k	r (mm)	μ	$\alpha(\text{m}^2/\text{s})$
4	-25	-0,00692	2,729	1,32830	$2,923092 \times 10^{-5}$
	-60	-0,00946	2,508	1,34381	$3,297386 \times 10^{-5}$
	-150	-0,02172	2,589	1,34150	$1,0779617 \times 10^{-4}$
	-196	-0,02788	3,003	1,34823	$1,0390487 \times 10^{-4}$
8	-25	-0,00604	2,689	1,32957	$2,472894 \times 10^{-5}$
	-60	-0,00845	2,645	1,34294	$3,278138 \times 10^{-5}$
	-150	-0,01823	2,740	1,34624	$7,556692 \times 10^{-5}$
	-196	-0,02429	2,757	1,34173	$1,0255987 \times 10^{-4}$
10	-25	-0,00619	2,761	1,33071	$2,665791 \times 10^{-5}$
	-60	-0,00851	2,824	1,35290	$3,706393 \times 10^{-5}$
	-150	-0,02152	2,790	1,35124	$9,178636 \times 10^{-5}$
	-196	-0,02938	2,541	1,32289	$1,0846730 \times 10^{-4}$
12	-25	-0,00551	2,787	1,33461	$2,405545 \times 10^{-5}$
	-60	-0,00927	2,756	1,34048	$3,919100 \times 10^{-5}$
	-150	-0,02001	2,630	1,35154	$7,581975 \times 10^{-5}$
	-196	-0,02772	2,686	1,32899	$1,1328002 \times 10^{-4}$
14	-25	-0,00532	2,823	1,34896	$2,331841 \times 10^{-5}$
	-60	-0,00783	2,687	1,34122	$3,143793 \times 10^{-5}$
	-150	-0,01575	2,786	1,33894	$6,821344 \times 10^{-5}$
	-196	-0,02064	2,740	1,33516	$8,696203 \times 10^{-5}$

Observando as Tabelas III.2 e III.3 observa-se que os valores de k para o Modelo de Fourier com 1º termo da série apresentaram-se de forma inversamente proporcional tanto para as sementes de algodão quanto para as de amendoim, ou seja, à medida que se diminui a temperatura estes aumentaram. Resultados semelhantes foram encontrado em estudos realizados por AMARAL et al. (2010), que em a difusividade e a energia de ativação de grãos de bico com base na cinética de congelamento encontraram resultados que entram em concordância com os encontrados no presente estudo.

TABELA III.3- Valores de difusividade térmica efetiva das sementes de amendoim para temperaturas de -25, -60, -150 e -196 °C .

Teor de água (%b.u.)	Temperatura (°C)	k	r (mm)	μ	$\alpha(m^2/s)$
4	-25	-0,00507	4,62567	1,27156	$6,709441 \times 10^{-5}$
	-60	-0,00672	4,53324	1,25859	$8,717992 \times 10^{-5}$
	-150	-0,00989	4,58163	1,28374	$1,2599923 \times 10^{-4}$
	-196	-0,04068	4,78311	1,34675	$5,1318378 \times 10^{-4}$
8	-25	-0,00665	4,84289	1,28946	$9,378790 \times 10^{-5}$
	-60	-0,00665	4,69249	1,28946	$8,805327 \times 10^{-5}$
	-150	-0,00922	4,57914	1,29411	$1,1547862 \times 10^{-4}$
	-196	-0,03669	5,23496	1,33923	$5,6061080 \times 10^{-4}$
10	-25	-0,00407	4,83202	1,29975	$5,627878 \times 10^{-5}$
	-60	-0,00667	4,78687	1,28223	$9,290475 \times 10^{-5}$
	-150	-0,00889	4,31882	1,31743	$9,558201 \times 10^{-5}$
	-196	-0,03247	4,92486	1,33459	$4,4209991 \times 10^{-4}$
12	-25	-0,00380	5,07681	1,29358	$5,845271 \times 10^{-5}$
	-60	-0,00605	4,85094	1,29007	$8,555621 \times 10^{-5}$
	-150	-0,00817	4,42930	1,31891	$9,209842 \times 10^{-5}$
	-196	-0,02923	4,97948	1,32884	$4,1042648 \times 10^{-4}$
14	-25	-0,00331	4,90451	1,28375	$4,837112 \times 10^{-5}$
	-60	-0,00554	4,59461	1,29943	$6,923763 \times 10^{-5}$
	-150	-0,00783	5,01253	1,32835	$1,1150786 \times 10^{-4}$
	-196	-0,02834	4,87209	1,32981	$3,8044784 \times 10^{-4}$

III.4- CONCLUSÕES

- As curvas de congelamento obtidas para as temperaturas de -25, -60 e -150 e -196 °C se assemelham à curva de congelamento de um produto com baixo teor de água;
- As curvas de congelamento obtidas para a temperatura de -196 °C não se distinguem as três fases típicas das curvas de congelamento da água pura; Para ambas as cultivares, a difusividade térmica aumenta com o aumento do teor de água em todas as temperaturas;
- Para os resultados da difusividade térmica dentro de um mesmo teor de água, observa-se uma oscilação destes valores, sem constituir um padrão definido de aumento ou diminuição, com a conseqüente variação da temperatura.

III.5- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBIN, D. F.; DAVILA, L.S. M.; SILVEIRA JÚNIOR, V. Avaliação da estabilidade de soluções modelo (cmc-sacarose) em recongelamentos. **Boletim do CEPPA**, v.28, p.125-132, 2010.

BONOMO, R. C. F.; FONTAN, R. DA C. I.; SOUZA, T. S. DE ; VELOSO, C. M.; REIS, M. F. T.; CASTRO, S. DE S. Thermophysical properties of cashew juice at different concentrations and temperatures. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.11, p.35-42, 2009.

CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M. ; DUARTE, MARIA ELITA MARTINS ; SILVA, MICHEL da . Curvas de congelamento de frutos de cajá (*Spondias lutea* L.) a temperaturas semi-criogênicas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 5, n. Especial, p. 53-60, 2003.

CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M. Tecnologia de crioconservação de sementes de urucum. **Tecnologia& Ciência Agropecuária**, v.2, p.1-9, 2008.

COELHO, R.R.P. “**Protocolo de crioconservação de sementes de algodão (*Gossypium hirsutum* L. raça *Latifolium* Hutch.) cultivares BRS 200 marrom e BRS verde**”. 2006. 89p. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Areia, PB, 2006.

FARIAS, D.C. de. **Desenvolvimento de um protocolo para crioconservação de sementes de sementes de jatobá: fitossanidade e cinética de congelamento**. 2003. 93p. Dissertação. Universidade Federal de Campina Grande, UFCG. 2003.

GOLDFARB, M.; DUARTE, M. E. M.; CAVALCANTI MATA, M. E. R.M.; PIMENTEL L. W.; SEVERINO, L. S. Cinética de congelamento criogênico de sementes de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) **Engenharia Ambiental** - Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 1, p. 195-203. 2010.

GRUDA, Z.; POSTOLSKI, J. **Tecnología de la congelación de los alimentos**. Zaragoza: Editorial Acribia, , 1986. 631p.

KASAHARA, I.; GARRIDO, F.; SIMPSON, R.; ALDUNATE, M.I.; CORNEJO, F. Cinética de congelacion y propiedades termofisicas en dos especies de frutales menores. In; **Refrigeracion y Congelacion de Alimentos**. Universidad Catolica de Valparaiso, Chile. p.81-110, 1986.

NEVES FILHO, L. de C. **Resfriamento, congelamento e estocagem de alimentos**. São Paulo: Instituto Brasileiro do Frio, 1991. 165p.

MEDEIROS, A. C. de S.; CAVALLARI, D. A. N. Conservação de germoplasma de aroeira (*Astronium urundeuva* (FR. ALL.) ENGL. I. Germinação de sementes após imersão em nitrogênio líquido (196 °C). **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 14, n. 1, p. 73- 75, 1992.

PIMENTEL, L. W. **Crioconservação de sementes de girassol (*Helianthus annuus* L.)**. 2009. 76p. Dissertação. Universidade Federal de Campina Grande, UFCG. 2009.

SILVA, J.D.; QUEROZ, A.C. de. **Análise de alimentos: método químicos e biológicos**. 3ª. Ed. Viçosa: UFV, . 2002. 235p.

STATSOFT, INC. **Programa computacional Statistica 7.0**. E.A.U. 2004.

CAPÍTULO IV -

**TEOR DE ÁGUA LIMITE PARA A CRIOCONSERVAÇÃO DE SEMENTES DE
ALGODÃO TOPAZIO E AMENDOIM HAVANA**

TEOR DE ÁGUA LIMITE PARA A CRIOPRESERVAÇÃO DE SEMENTES DE ALGODÃO TOPAZIO E AMENDOIM HAVANA

IV-RESUMO

A qualidade das sementes agrupadas as suas características de armazenabilidade a temperaturas criogênicas, admitem viabilizar a criopreservação dos produtos, sendo o quantitativo de água no interior das sementes, um dos fatores mais importantes, pois quando empregado corretamente, dá plasticidade às sementes e evita a fissura de sua estrutura física e do rompimento da estruturas celulares. A sobrevivência ou a conservação do potencial fisiológico durante o armazenamento dependem diretamente da manutenção da semente com teor de água adequado e específico, que é, provavelmente, o fator mais crítico para o sucesso de um protocolo de criopreservação. Assim, o objetivo do presente estudo foi determinar o teor de água limite para criopreservação (TALC) de sementes algodão Topázio e amendoim Havana. Para essa determinação as sementes com teor de água de 4, 6, 8, 10,12 e 14% base úmida foram criopreservadas em nitrogênio líquido (-196 °C), no vapor de nitrogênio (-170 °C) e nas temperaturas de -20 e -60 °C por um período de 5 dias e submetidas, após o descongelamento lento, aos testes de germinação e vigor. As sementes de algodão possuem um teor de água limite de 6 a 8% b.u para -170 °C e 8% b.u para -196 °C. As sementes de amendoim tanto se criopreservam bem nas temperaturas de -170 °C quanto -196 °C para uma faixa de teor de água de 10-12%b.u.

Palavras-chave: congelamento, nitrogênio líquido, germinação

HIGH MOISTURE FREEZING LIMIT TO CRYOPRESERVATION OF COTTON TOPAZIO SEED AND PEANUT HAVANA

IV-ABSTRACT

Seed quality characteristics grouped their storability at cryogenic temperatures, admit enable the freezing of products, and the amount of water inside the seed, one of the most important factors, because when used correctly, gives plasticity to the seeds and prevents cracking of its physical structure and disruption of cellular structures. The survival or preservation of physiological during storage depend directly on the maintenance of seed water content with appropriate and specific, that is probably the most critical factor for the success of a cryopreservation protocol. The objective of this study was to determine the water content limit for cryopreservation (TALC) seed cotton and peanuts Topaz Havana. For this determination the seeds with water content of 4, 6, 8, 10,12 and 14% wet basis were cryopreserved in liquid nitrogen (-196 °C) in nitrogen vapor (-170 °C) and at temperatures of -20 and -60 °C for a period of 5 days and subjected, after thawing slow for germination and vigor. The cotton seeds have a moisture content limit of 6 to 8% bu -170 °C and 8% wb to 196 °C. The peanut seeds is much criopreservam well at temperatures of -170 °C and -196 °C for a range of water content of 10-12% wb.

Keywords: freezing, liquid nitrogen, germination

IV.1 – INTRODUÇÃO

A necessidade de recuperação de ecossistemas florestais e a conservação da biodiversidade geraram necessidade de estudos do comportamento das sementes durante o armazenamento (CARVALHO et al., 2006). Na última década, o avanço significativo nas pesquisas utilizando as técnicas de crioconservação de sementes, resultou em protocolos de conservação para cerca de 100 espécies, uma vez que a semente é a forma pela qual a planta sobrevive o máximo de tempo com o mínimo de atividade fisiológica (MARTINS et al., 2009).

ALMEIDA et al.(2006) menciona que as sementes são seres vivos constituídos de água matéria seca. O termo teor de água se refere à quantidade de água existente na semente em relação à sua massa total. Na matéria seca das sementes se encontram os carboidratos, as proteínas, os óleos, as cinzas e as vitaminas.

O teor elevado de água, durante a conservação das sementes, é, em geral, uma das principais causas que concorre para a perda do poder germinativo e do vigor das sementes. Por esse motivo tornam-se necessários conhecimentos sobre os problemas causados pelo excesso de água nas sementes e como controlá-los ou eliminá-los, pois, a sobrevivência, conservação e a manutenção do potencial fisiológico durante o armazenamento dependem diretamente da manutenção da semente com teor de água adequado e específico.

A manutenção da qualidade da semente durante o período de armazenamento, seja qual for a tecnologia aplicada, está estritamente relacionada com o seu teor de água com a temperatura da massa da semente, logo, o comportamento das sementes no armazenamento está diretamente relacionado a esses dois fatores.

Contudo, é possível manter ou prolongar a viabilidade das sementes quando armazenadas em condições controladas de temperatura e suprimento de oxigênio. A técnica de crioconservação, isto é, o armazenamento em nitrogênio líquido, proporciona o potencial para uma preservação sem limites de tempo, com a redução do metabolismo a níveis tão baixos que todos os processos bioquímicos são significativamente reduzidos e a deterioração é paralisada.

Para a eficiência da técnica citada faz-se necessário conhecer a priori o teor de água das sementes, sendo este fator o de maior importância para que esse tipo de conservação obtenha êxito. Desse modo, o teor de água limite para crioconservação (TALC) dá-se como o intervalo no qual a viabilidade da semente é maximizada durante o armazenamento em temperaturas ultrabaixas.

Capítulo IV - Teor de água limite para a crioconservação de sementes de algodão topázio e amendoim havana

Para que um material vegetal resista à crioconservação, o TALC deve ser obtido, sendo ferramenta fundamental para o estabelecimento de protocolos de crioconservação de sementes.

O objetivo dessa pesquisa foi determinar o teor de água limite para a crioconservação (TALC) de sementes de algodão Topázio e amendoim Havana.

IV. 2 - MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas da Universidade Federal de Campina Grande- UFCG. Foram utilizadas sementes de algodão Topázio e amendoim Havana ambas adquiridas na Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias – Embrapa.

Para a realização do trabalho foi necessário à determinação do teor de água inicial pelo método padrão da estufa a $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$, utilizou-se quatro sub-amostras de 10g de sementes obtidas da amostra média. As sementes foram pesadas e acondicionadas em recipientes metálicos (cadinhos) e colocadas em estufa, onde permaneceram durante 24h. Depois de retirados os recipientes da estufa, os mesmos foram tampados e esfriados em dessecador durante 15 minutos e submetidas à nova pesagem. A percentagem do teor de água foi calculada com base no peso da água segundo as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1982). Equação IV.1.

$$X(\%b.u) = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad (\text{IV.1})$$

em que,

P_i = peso inicial da amostra (gramas);

P_f = peso final da amostra (gramas);

$X\%$ (b.u).= teor de água, base úmida.

Para a caracterização do teor de água, após a determinação do teor de água inicial, as sementes foram submetidas ao processo de hidratação e secagem até estas alcançarem os teores de água de 4, 6, 8,10, 12 e 14% b.u. estabelecidos para a instalação dos diferentes ensaios de determinação do TALC. A perda ou ganho de água pelas sementes foi determinado conforme recomendado por ALMEIDA et.al (1997), por meio da Equação IV.2

$$P_f = P_i \frac{100 - T_{Ai}}{100 - T_{Af}} \quad (\text{IV.2})$$

em que,

P_f = peso final da mostra (grama);

P_i = peso inicial da amostra (grama);

TA_i = teor de água inicial das sementes (%b.u.);

TA_f = Teor de água desejada das sementes (%b.u.);

IV.2.1 Secagem das sementes

Para realizar a secagem, as sementes com teor de água conhecido foram colocadas em um secador ajustado para a temperatura de 40 °C e pesadas a cada 1 hora, até que atingissem os pesos referentes aos teores de água desejados, para este fim foi utilizada uma balança eletrônica, com precisão de 0,01g.

IV.2.2 Umedecimento das sementes

Para o umedecimento das sementes, amostras foram colocadas em cestas confeccionadas em tela de arame com suportes para suspendê-las (Figura IV.1) e colocadas no interior de bandejas plásticas contendo água no seu interior e envolvidas com sacos plásticos de modo a ficarem hermeticamente fechadas. Posteriormente foram colocadas em geladeira regulada a 10°C. As cestas com as amostras foram pesadas a cada 5 horas, utilizando-se uma balança eletrônica, com precisão de 0,01g até atingir os pesos referentes aos teores de umidade desejados, determinados conforme Equação IV.2.

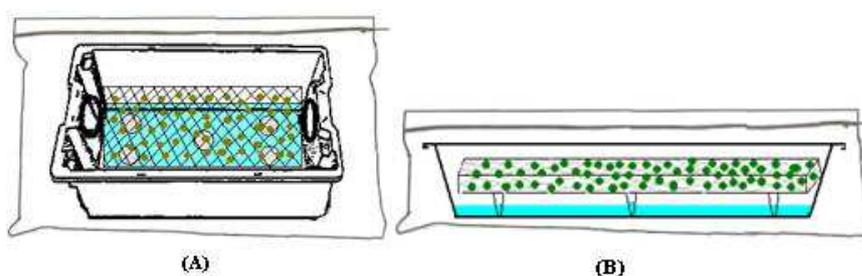


FIGURA IV.1. Recipiente hermético utilizado para umedecimento das sementes de algodão. (A) visão superior e (B) visão lateral.

Após atingirem os teores de água desejado as sementes foram criopreservadas por 5 dias em nitrogênio líquido (-196 °C) e no vapor de nitrogênio (-170 °C) e após esse

período foram descongeladas e submetidas ao teste de germinação. Para tanto, utilizou-se quatro repetições de 50 sementes por tratamento, as sementes foram distribuídas em bandejas plásticas contendo vermiculita. Para as sementes de algodão, as avaliações foram efetuadas no 4º dia e 12º dia, já para as sementes de amendoim as análises foram feitas no 5º e 10º dias a partir do primeiro dia de semeadura. O percentual de germinação foi determinado conforme prescrição das Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1982).

IV.2.3 Teste de vigor

Os testes de vigor foram realizados através da primeira contagem da germinação, do comprimento de plântula e do peso da matéria seca.

A determinação do peso da matéria seca das plântulas consideradas normais de cada repetição foi feita retirando-as do substrato e colocando-as em saco de papel que, separadas por tratamento e repetições, foram postas para secar em estufa a $70 \pm 3^\circ \text{C}$, até peso constante. Depois deste período, estas foram retiradas da estufa e colocadas para resfriar em dessecador por 15 minutos, em seguida pesadas em balança eletrônica, com precisão de 0,01g. O peso seco foi calculado através da fórmula proposta por VIERA e CARVALHO (1994).

A avaliação do comprimento do plântula das plântulas normais foi realizada no décimo dia após instalação do teste de germinação, sendo os resultados expressos em centímetros (VEIRA e CARVALHO, 1994).

IV.2.4 Análise estatística

Para a determinação do Teor de Água Limite para Crioconservação (TALC), o delineamento estatístico empregado foi o inteiramente casualizado com arranjo fatorial representado por (seis teores de água x três temperaturas), empregando-se quatro repetições por tratamento. Foi feita a análise de variância e comparação das médias dos tratamentos pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade.

IV. 3- RESULTADOS E DISCUSSÃO

O valor do teor de água limite para a crioconservação das sementes de algodão Topázio e amendoim Havana foi de 8% b.u e 10% b.u respectivamente.

Na Tabela IV.1 e IV.2 apresentam-se as médias para a germinação das sementes de algodão e amendoim, respectivamente, armazenadas por 5 dias em temperatura ambiente a 25 °C e em temperaturas criogênicas de -170 °C (vapor de nitrogênio) e de -196 °C (nitrogênio líquido) para 6 níveis de teor de água (4,6,8,10,12 e 14% b.u), com a finalidade de se obter o teor de água limite para a crioconservação.

TABELA IV.1 – Valores das médias para a germinação (%) das sementes de algodão Topázio armazenadas a temperatura ambiente e crioconservadas por 5 dias.

Teor de água	Germinação		
	25 °C	-170 °C	-196 °C
4%	65,5 bcA	40,0 bcB	45,5 cB
6%	78,00 aA	70,5 aAB	66,5 bB
8%	80,00 aA	77,5 aA	84,0 aA
10%	71,0 abA	48,5 bC	58,0 bB
12%	59,00 cA	47,5 bB	45,0 cB
14%	57,00 cA	32,5 cB	35,0 dB
DMS para colunas = 9,8910 Classific.c/letras minúsculas		DMS para linhas = 8,0749 Classific.c/letras maiúsculas	

Para as sementes de algodão, constata-se que a germinação das sementes com teor de água de 6, 8 e 10% b.u diferiu significativamente dos demais teores para a temperatura de 25 °C obtendo as médias de germinação de 78, 80 e 71% respectivamente. Nessa mesma temperatura observa-se uma diminuição na germinação para as sementes com teor de água de 12 e 14% isso ocorre, provavelmente, devido ao aumento da taxa respiratória

das sementes provocando uma diminuição da germinação, pois para a maioria das espécies, a diminuição da concentração de oxigênio pode causar inibição da germinação (as concentrações que inibem a germinação dependem da espécie). Analisando as temperaturas ultrabaixas, verifica-se melhor índice germinativo na temperatura de -170 °C com média de germinação de 70,5 e 77,5% para os teores de 6 e 8% b.u, respectivamente, e, 84,0% para o teor de 8% b.u na temperatura de -196 °C diferindo estatisticamente em relação aos demais teores. Diante destes resultados observa-se que a faixa ideal para se crioconservar as sementes de algodão Topázio é de 6 a 8% b.u em vapor de nitrogênio e de 8% b.u no nitrogênio líquido. As sementes com teores de 4, 10 e 12 e 14% obtiveram as menores médias de germinação, tal comportamento indica que esses teores de água não são indicados para a crioconservação das sementes de algodão TOPAZIO, visto que neste teores as médias dos fatores utilizados para se determinar o TALC diferiram do ponto de vista estatístico dos teores de 6 e 8% b.u.

Analisando a Tabela IV.2 para a germinação das sementes de amendoim, verifica-se que para a temperatura de 25 °C a germinação das sementes com teores de água de 4, 6, 8, 10, 12 e 14% b.u não diferiram entre si, no qual todos esses teores tiveram uma média de germinação acima de 62%. No congelamento (temperaturas de -170 °C e -196 °C) as sementes com 10 e 12% b.u diferiram estatisticamente de todos os outros teores estudados obtendo médias de germinação superior a 64% enquanto que para os demais teores a média de germinação ficou abaixo de 57%. Este comportamento mostra que para as sementes de amendoim Havana estudada, o teor de água limite se encontra numa faixa de 10 a 12% b.u.

TABELA IV.2 – Valores das médias para a germinação (%) das sementes de amendoim Havana armazenadas a temperatura ambiente e crioconservadas por 5 dias.

Teor de água	Germinação		
	25 °C	-170 °C	-196 °C
4%	16,00 dA	23,50 cB	25,00 dB
6%	18,25 cdA	42,00 bB	37,00 cB
8%	25,75 abA	52,00 bB	57,00 bAB
10%	30,25 aB	72,00 aA	74,00 aA
12%	22,50 bcB	64,00 aA	65,00 abA
14%	22,75 bcA	15,00 cB	10,00 eB
DMS para colunas = 11.1818 Classific.c/letras minúsculas		DMS para linhas = 9.1288 Classific.c/letras maiúsculas	

CAVALCANTI-MATA et. al. (2004) estudando o teor de água limite para sementes algodão arbóreo variedade 6M-Moco-Branco foi de 6%b.u, resultados semelhantes também foram observados nos trabalhos de COELHO (2006) que também estudou o TALC de duas variedades de algodão e verificou que a cultivar BRS Verde situa-se entre 6-8% base úmida e a cultivar BRS 200 Marrom é de 8% base úmida.

De modo semelhante, ALMEIDA et al. (2002), determinando o TALC para sementes de mamona de duas variedades, chegou a faixa de 6 a 10% de teor de água como os valores mais apropriados para as duas variedades consideradas no estudo.

O congelamento das sementes de algodão e amendoim com teor de água elevado 14% b.u resultou em expressiva redução da capacidade germinativa. STANWOOD (1985; 1987) apresentou os valores de teor de água críticos para congelamento de sementes de diversas espécies, dentre elas feijão, alho e gergelim, destacando a queda drástica do percentual de germinação quando da utilização de teores de água acima do nível crítico. Esses resultados indicam que sementes de algodão e amendoim, assim como outras já estudadas, são tolerantes ao congelamento, desde que seu teor de água não seja elevado e isso mostra que o TALC é espécie-específico, necessitando um estudo para cada espécie pois, tem-se que, o teor de água das sementes é um dos principais fatores controladores da

crioconservação. A diminuição da germinação com teores de água elevados pode ocasionar a formação de cristais de gelo a partir da água presente no interior das células (SANTOS 2000), acarretando injúrias e causando a perda da capacidade germinativa.

CHANDEL et al. (1995) constataram que o teor de água adequado para crioconservação de sementes de chá (*Camellia sinensis* (L) O. Kuntze) e de amêndoas de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lamk.) foi de 14% b.u. e que acima desse valor as sementes perderam sua capacidade germinativa. Confirmando este fato, existem diversos trabalhos na literatura (ALMEIDA et al. 2000; COELHO, 2006; ALMEIDA et al., 2007; GOLDFARB, 2008; ROCHA et al., 2008), utilizando diferentes produtos no qual seus autores observaram que é necessário identificar o teor de água limite para crioconservação de sementes.

Na Tabela IV.3 e IV.4 encontram-se os valores das médias do vigor obtidos pela 1ª contagem da germinação e do comprimento de plântula para sementes de algodão e amendoim, respectivamente. As sementes de algodão apresentaram diferença significativa na 1ª contagem de germinação para os teores de 6, 8 e 10% b.u na temperatura de 25 °C em relação aos demais teores. Analisando o vigor em relação às temperaturas criogênicas observa-se que para a temperatura de -170 °C e -196 °C a melhor média de germinação foi para 8% b.u, diferindo estatisticamente dos outros teores de água estudados. Para o comprimento de plântula constata-se que na temperatura de 25 °C, as sementes com 6, 8, 10, 12 e 14% b.u foram as que tiveram as maiores médias não diferindo estatisticamente entre si. Na temperatura de -170 °C não houve diferença significativa no comprimento dos plântulas nas sementes com teores de água de 4 a 12% b.u e para a temperatura de -196 °C as maiores médias foram obtidas para as sementes com teores de água entre 6 e 8% b.u. porém, em comparação com a germinação das sementes com teores de 12 e 14% ocorreu diferença significativa em relação aos demais teores.

TABELA IV.3- Valores médios do vigor (%) das sementes de algodão para 6 teores de água depois de crioconservadas por 5 dias.

Teor de água (%)	Vigor					
	1º contagem da germinação			Comprimento de plântula		
	25 °C	-170 °C	-196 °C	25 °C	-170 °C	-196 °C
4	58,00 bcA	33,00 cB	39,50 dB	7,80 bA	7,72 abA	7,62 bcA
6	71,00 aA	57,00 bB	60,50 bB	8,60 aA	8,12 aAB	8,07 abB
8	74,00 aA	68,00 aA	71,00 aA	8,42 abA	8,22 aA	8,32 aA
10	64,00 abA	42,50 cB	50,00 cB	8,20 abA	7,65 abB	7,50 bcB
12	53,50 cA	38,00 cB	38,00 dB	8,47 aA	7,60 abB	7,02 cC
14	52,00 cA	20,50 dC	31,00 dB	8,35 abA	7,37 bB	7,02 cB
DMS para colunas = 10.23988 Classific.c/letras minúsculas				DMS para colunas = 0.6278 Classific.c/letras minúsculas		
DMS para linhas = 8.3597 Classific.c/letras maiúsculas				DMS para linhas = 0.5125 Classific.c/letras maiúsculas		

CAVALCANTI MATA et al. (2004), realizando pesquisas para determinar o teor de água limite para crioconservação de sementes de algodão variedade 6M, concluíram que as sementes com teor de água de 12 ou 14% b.u., quando armazenadas a temperatura de 23°C, iniciam o processo de aumento da taxa de respiração que provoca diminuição de sua germinação. Os autores constataram que os melhores índices de germinação e vigor se encontravam entre 4 e 8%.

TABELA IV.4- Valores médios do vigor (%) das sementes de amendoim para 6 teores de água depois de crioconservadas por 5 dias.

Teor de água (%)	Vigor					
	1° contagem da germinação			Comprimento de plântula		
	25 °C	-170 °C	-196 °C	25 °C	-170 °C	-196 °C
4	54,00 aA	19,50 dB	21,00 cB	8,72 aA	5,97 cB	6,35 bB
6	58,00 aA	36,50 cB	31,50 cB	8,57 aA	8,15 bA	8,65 aA
8	59,00 aA	46,50bcB	51,00bAB	8,92 aA	8,22 bA	8,95 aA
10	60,00 aA	66,00 aA	67,00 aA	9,45 aAB	10,75 aA	8,82 aB
12	57,00 aA	53,50bAB	44,00 bB	8,97 aA	9,80 abA	8,87 aA
14	59,00 aA	12,00 dB	8,50 dB	8,30 aA	5,87 cB	3,92 cC
DMS para colunas = 11.8376 Classific.c/letras minúsculas				DMS para colunas = 1.7163 Classific.c/letras minúsculas		
DMS para linhas = 9.6641 Classific.c/letras maiúsculas				DMS para linhas = 1.4012 Classific.c/letras maiúsculas		

Na Tabela IV.2, observa-se que o vigor das sementes de amendoim expresso em 1°contagem da germinação e comprimento de plântula não diferiram significativamente entre si, ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste de Tukey, para todos os teores de água em relação às temperaturas de 25 °C. Na temperatura de -170 °C e -196 °C o teor de água de 10% b.u se destaca como melhor média de 1° contagem da germinação, diferindo dos demais teores de água. Para o comprimento de plântula o teor de água de 10-12% b.u na temperatura de -170 °C não diferiram estatisticamente entre si e obtiveram as maiores médias, já para a temperatura de -196 °C a faixa de teor de água que melhor respondeu aos testes foram os de 6 a 12% b.u. sendo que as sementes com 14% b.u obteve a menores resultados.

ALMEIDA et al. (2002) afirmam que a umidade com que as sementes oleaginosas são colhidas nas regiões produtoras do Nordeste do Brasil, é em torno de 6% b.u. e, pelo que foi discutido anteriormente, a faixa de umidade de 4-8% b.u. deve ser a preferida para

crioconservação desse material. Pesquisas realizadas por BATISTA (2000), com *Sesamum indicum*, mostram que para esta faixa de teor de água, a crioconservação é um método adequado, porém é importante ressaltar que, segundo IRIONDO et al. (1992) não está claro a existência de uma correlação entre a sensibilidade das sementes com a crioconservação e o seu conteúdo de óleo.

De maneira geral, em relação à germinação e ao vigor, percebe-se que a faixa ideal de teor de água para se crioconservar as sementes de algodão é de 6-8 b.u para -170°C e 8% b.u para -196 °C. Em relação as sementes de amendoim tanto na temperaturas de -170 °C quanto -196 °C as sementes se crioconservam bem na faixa de 10-12%b.u.

Diversos autores entre eles CROCHEMORE (1993); CORTETT (1999); CARVALHO e NAKAGAWA (2000) e BRUNO et al. (2000) comprovaram a significativa relevância do quantitativo de águas na preservação da germinação e vigor das sementes e sua importância direta no armazenamento.

IV.4- CONCLUSÕES

As sementes de algodão possuem um teor de água limite de 6 a 8% b.u para -170C e 8% b.u para -196 °C.

As sementes de amendoim tanto se crioconservam bem nas temperaturas de -170 °C quanto -196 °C para uma faixa de teor de água de 10-12%b.u.

IV.5- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.A.C.; CAVALCANTI MATA, M.E.R.M. **Conservação dos recursos fitogenéticos da região semi-árida através da criopreservação**. Projeto de Pesquisa. Campina Grande, PB: Universidade Federal da Paraíba, 1997, 37p.

ALMEIDA, F. A. C.; VILLAMIL, P.; GOUVEIA, J. P. G.de. Efeito de la criopreservacion sobre la germinacion de semillas de leguminosas. **Brasileira de Produtos Agroindustriais**. Campina grande, v.2, n.1, p.67-71, 2000.

ALMEIDA, F. A. C.; ORAIS, M.;CARVALHO, J. M. F. C.; GOUVEIA, J. P. G. de Criopreservação de sementes de mamona das variedades nordestina e pernambucana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande,v.6, n.2, p.295-302, 2002.

ALMEIDA, F. DE A.C.; DUARTE, M.E.M.; MATA, M.E.R.M.C. 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.C. (ed).Tecnologia de armazenamento em sementes, 2006. C. Grande: UFCG, p.144-174.

ALMEIDA, F. de A. C.; ALVES, N. M. C.; GOMES, J. P.; SILVA, D. R.S. Determinação do teor de umidade limite de sementes de endro (*Anethum graveolens*) para criopreservação. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. v.7, n.2 ,2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília. SNAD/DNDV/CLAV, 1992. 365p.

BATISTA, R.C. **Cultivo in vitro e criopreservação de sementes de gergelim (*Sesamum indicum L.*)**. 2000. 83f. Dissertação (Mestrado em EngenhariaAgrícola), Departamento de Engenharia Agrícola/CCT/UFPB. Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande.2008.

BRUNO, R. DE L.A.; AZEREDO, G.A. DE ; QUEIROGA, V. DE P.; ARAÚJO, E.; DINIZ, E. Qualidade fisiológica e microflora de sementes de amendoim cv. BR-1 durante o armazenamento. **Revista de Oleaginosas de Fibrosas**, Campina Grande, v.2, n.3, p. 141-152,2000.

CARVALHO, N.M. de; NAKAGAWA,J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4^a ed. Jaboticabal: Funep, 588p. 2000.

CARVALHO, L. R.; SILVA, E. A. A.; DAVIDE, A. C. Classificação de sementes florestais quanto ao comportamento no armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, v.28, p.15-25, 2006.

CAVALCANTI-MATA. M. E. R. M., ROCHA, M. S.; DUARTE, M. E. M.; Teor de água limite para a crioconservação de sementes de algodão arbóreo variedade 6M. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. Campina grande, v.6, n.2, p.179-189, 2004

CHANDEL, K.P.S.; CHAUDHURY, R.; RADHAMANI, J.; MALIK, S.K. **Desiccation and freezing sensitivity in recalcitrant seed of tea, cocoa and jackfruit**. v. 76. New Delhi, India: NBPGR, 1995. p.443-450.

COELHO, R.R.P. “**Protocolo de crioconservação de sementes de algodão (*Gossypium hirsutum* L. raça *Latifolium* Hutch.) cultivares BRS 200 marrom e BRS verde**”. 2006. 89p. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Areia, PB, 2006.

CORLETT, F. M. F. **Qualidade fisiológica e microflora de sementes de algodão herbáceo com e sem linter da cultivar CNPA7H em três microrregiões do Estado da Paraíba**. 1999. 66p. (Mestrado em Produção Vegetal).Areia, Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Fitotecnia. 1999.

CROCHEMORE, M.L.; PIZA, S.M. de T. Germinação e sanidade de sementes de nabo forrageiro conservadas em diferentes embalagens. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.29,n.5, p.677- 680,1994.

GOLDFARB, M.. **Criopreservação e sanidade de sementes de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.)**.2008, 110pp Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil, 2008.

IRIONDO, J.M.; PEREZ, C.; PEREZ-GARCIA, F. Effect of seed storage in liquid nitrogen on germination of several crop and wild species. **Seed Science and Technology**, Zurich Suíça, v.20, n.1, p.165-171, 1992.

MARTINS, L.; LAGO, A.A. do; ANDRADE, A.C.S. de; SALES, W.R.M. Conservação de sementes de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart. ex DC.) Standl.) em nitrogênio líquido. **Revista Brasileira de Sementes**, v.31, p.71-76, 2009.

ROCHA, M. do S.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; CARVALHO, J. M. F. C.; LOPES, K. P.. Criopreservação de sementes de algodão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, UAEEA/UFCG. v.13, n.3, p.312–318, 2009.

SANTOS, I. R. I. Criopreservação: potencial e perspectivas para a conservação de germoplasma vegetal. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.12, p.70-84, 2000.

STANWOOD, P.C. Cryopreservation of seed germplasm for genetic conservation In: KARTHA, K.K. (ed.). **Cryopreservation of plant cells and organs**. Boca Rotan: CRC Press, p.199-225.1985.

STANWOOD, P. C. Survival of sesame seeds at the temperature (-196 °C) of liquid nitrogen. **Crop Science**, v.27, p.327-331, 1987

VIEIRA, R.D., CARVALHO, N.M. de. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 164p. 1994.

CAPÍTULO V

CRIOCONSERVAÇÃO DE SEMENTES DE ALGODÃO TOPÁZIO E AMENDOIM HAVANA

V-RESUMO

O método de crioconservação compreende a conservação de material biológico a temperaturas ultra-baixas, geralmente em nitrogênio líquido, a $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$, ou em sua fase de vapor, a $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$, onde a divisão celular e os processos metabólicos cessam ou são paralisados e mantidos em estado latente, podendo o material permanecer armazenado por tempo indefinido sem que sofra modificações ou alterações. Objetivou-se testar a influência da técnica de crioconservação em imersão no nitrogênio líquido, e na sua fase de vapor ($-150\text{ }^{\circ}\text{C}$), como também a -25 , $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, sobre a qualidade fisiológica de sementes de duas cultivares de algodão Topázio e Amendoim Havana, submetidas a um período de armazenamento de 6 meses, sendo descongeladas lentamente. A qualidade das sementes foi avaliada antes do armazenamento e a cada mês, através dos testes: germinação e vigor (1 contagem da germinação e comprimento de hipocótilo). Observou-se que a conservação criogênica das sementes de algodão Topázio e amendoim Havana aumentaram o percentual de germinação e o vigor das sementes estudadas, em razão dessa temperatura promover quebra de dormência pela ação do frio. Não obstante, a crioconservação parece ser uma boa alternativa para conservação das sementes estudadas.

PALAVRAS-CHAVE: crioconservação, descongelamento, sementes, vigor.

CRYOCONSERVATION OF COTTON SEEDS TOPAZ AND PEANUT HAVANA

V-ABSTRACT

The method comprises the cryopreservation of biological material preservation ultra-low temperatures, usually in liquid nitrogen at $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ or in a vapor phase at $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$, where cell division and metabolic processes cease or are paralyzed and maintained in a latent state, the material can remain stored for indefinitely without suffering modifications or changes. This study aimed to test the influence of cryopreservation technique for immersion in liquid nitrogen, and its vapor phase ($-150\text{ }^{\circ}\text{C}$), as well as the -25 , $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, on the physiological quality of seeds of two cultivars Topaz cotton and peanut Havana subjected to a storage period of 6 months and thawed slowly. Seed quality was evaluated before storage and every month through: germination and vigor (1 count of germination and hypocotyls). It was observed that the cryogenic preservation of seed cotton and peanuts Topaz Havana increased the percentage of germination and vigor of seeds studied, because this temperature promote dormancy by the action of cold. Nevertheless, cryopreservation seems to be a good alternative for storage of seeds studied.

KEYWORDS: cryopreservation, defrost, seed vigor.

V.1 - INTRODUÇÃO

Desde o início da década de 1970, há uma crescente conscientização mundial sobre a necessidade de preservação dos recursos genéticos que são essenciais para o atendimento das demandas de variabilidade genética dos programas de melhoramento, e para a prevenção da erosão genética para o melhoramento da produtividade agrícola. A conservação de germoplasma tem sido uma das mais importantes áreas de pesquisa na agricultura. Seu principal objetivo é o desenvolvimento de técnicas para a conservação em longo prazo da variabilidade genética de espécies vegetais com a máxima integridade genética e biológica possível.

Existem duas estratégias básicas de conservação: conservação *in situ* e *ex situ* (CLEMENTE et al., 2008). Conservação *in situ* refere-se à manutenção das espécies selecionadas no seu habitat natural em parques, reservas biológicas ou reservas ecológicas. Conservação *ex situ* é a conservação de espécies vegetais fora do seu ambiente natural, através de coleções de plantas no campo, de sementes em bancos de sementes, ou de coleções de plântulas em bancos *in vitro*. Entre os possíveis métodos de conservação *ex situ* de recursos fitogenéticos, a conservação de sementes em bancos de germoplasma é o mais eficiente e econômico.

A semente é a forma mais comum de conservação *ex situ*, uma vez que é a unidade de propagação natural para a maioria das espécies de plantas superiores. A metodologia convencional compreende a desidratação das sementes para teores de água baixos e armazenamento em câmaras com controle de temperatura e umidade relativa. Segundo CROMARTY et al. (1982) estas condições permitem a preservação de material vegetal por longos períodos de tempo. Porém, pode ocorrer perda da viabilidade com o prolongamento do armazenamento, dependendo da espécie (ROBERTS e ELLIS, 1984).

Dentre as técnicas alternativas para a conservação em bancos de germoplasma de espécies agrícolas e florestais que estão sendo desenvolvidas, a crioconservação possui grande destaque. De acordo com ALMEIDA et al. (2000) a crioconservação (conservação em nitrogênio líquido, -196 °C) tem se mostrado como uma das alternativas mais promissoras para conservar as sementes, devido sua simplicidade e eficiência bem como, o baixo custo empregado na tecnologia, além da garantia de conservação por períodos indefinidos.

A capacidade de tecidos vegetais sobreviverem à crioconservação depende da sua tolerância à desidratação e à temperatura do nitrogênio líquido, bem como, do conhecimento de suas propriedades físicas e químicas, da determinação do teor de água ideal e das taxas apropriadas de congelamento e descongelamento, a fim de se evitar a formação de cristais de gelo no interior da célula. A formação de grandes cristais produziria ruptura da membrana celular de diferentes órgãos e, por último, morte celular. Tais fatores são específicos e requerem estudos e avaliações para cada espécie (STANWOOD e ROSS, 1979).

A crioconservação por ser um método eficiente e prático de conservação é, possivelmente, hoje em dia, a técnica que oferece mais vantagens para a conservação *ex situ* das espécies vegetais em especial para aquelas em que a conservação convencional de sementes não pode ser utilizada satisfatoriamente. Não obstante, é conveniente realizar estudos para colocar esta técnica ao alcance de cada espécie, para se compreender os mecanismos fisiológicos que atuam durante o armazenamento criogênico.

O objetivo desta pesquisa foi estudar as alterações que ocorrem na germinação e no vigor de sementes de algodão e amendoim após serem armazenadas em nitrogênio líquido (-196 °C), vapor de nitrogênio (-150 °C) a -60 °C, -25 °C e temperatura ambiente (25 °C) por períodos de 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias.

V.2 - MATERIAL E MÉTODOS

Após determinar o TALC, as sementes foram armazenadas a 25 °C (testemunha), a -20, -60, -150 e -196 °C, por 30, 60, 90 e 120, 150 e 180 dias. Ao término de cada período, as sementes foram submetidas ao descongelamento lento em ambiente de freezer a -18 °C, em ambiente de geladeira a 7 °C e em temperatura ambiente a 25 °C, por período de 9 horas (3 horas para cada ambiente). Logo em seguida foram realizados os testes de germinação e vigor de acordo com as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1982).

As sementes armazenadas nas temperaturas de -20 foram colocadas em refrigeradores com a temperatura ajustada para -20 °C. O armazenamento nas temperaturas de -60 e -150 °C foi realizado em balcões criogênicos e para a temperatura de -196 °C, as sementes foram colocadas em um canister e imersas em um botijão criogênico, este é na verdade, constituído de dois recipientes, um dentro do outro, unidos por um gargalo de fibra de vidro especial para temperaturas ultrabaixas e alto vácuo (Figura V.1). O espaço entre os recipientes contém materiais isolantes submetido a alto vácuo. O isolamento térmico confere ao botijão, a capacidade de reter o nitrogênio no estado líquido (-196°C), baixas perdas por evaporação, viabilizando assim a estocagem e transporte de material biológico vivos por longos períodos de uma forma econômica.

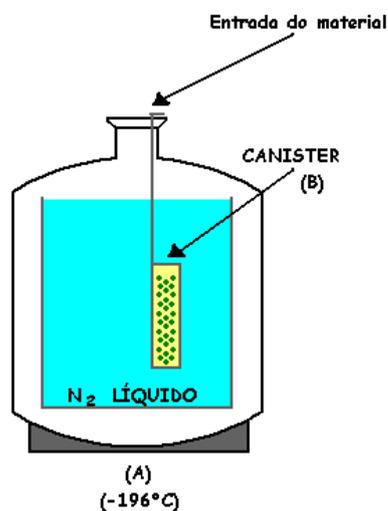


FIGURA V.1. (A) Botijão criogênico com Nitrogênio Líquido a - 196 °C; (B) Canister feito em aço inoxidável.

V.2.1 Análise da qualidade fisiológica

V.2.1.1 Teste de germinação

Após serem crioconservadas e descongeladas de acordo com cada tratamento as sementes de algodão e amendoim foram submetidas ao teste de germinação. Para tanto, quatro repetições de 50 sementes, por tratamento, foram distribuídas em bandejas plásticas contendo vermiculita. As avaliações foram efetuadas no quarto e décimo segundo dia para as sementes de algodão, e no quinto e décimo dia para as de amendoim, ambas a partir do primeiro de semeadura. O percentual de germinação foi determinado conforme prescrição das Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 1982).

V.2.1.2 Teste de vigor

Os testes de vigor foram realizados através da primeira contagem da germinação e do comprimento de plântula.

A primeira contagem da germinação correspondeu à porcentagem de sementes germinadas no período de ocorrência das primeiras plântulas normais que foi no 4º dia para as sementes de algodão e 5º dia para as sementes de amendoim, depois que as sementes foram semeadas.

A avaliação do comprimento de plântula normais foi realizada no décimo dia após instalação do teste de germinação, sendo os resultados expressos em centímetros (VEIRA e CARVALHO, 1994).

V.2.2 Análise estatística

Para a crioconservação foi empregado o delineamento inteiramente casualizado com arranjo fatorial representado por (seis período de armazenamento x cinco temperaturas), empregando-se quatro repetições por tratamentos. Em seguida foi feito a análise de variância e comparação das médias dos tratamentos pelo teste de Tukey a 1% e a 5% de probabilidade.

V.3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela V.1 constata-se os resultados da germinação das sementes de algodão e amendoim armazenadas nas temperaturas de 25, -20, -150 e -196 °C para um período de 180 dias.

TABELA V.1 - Comparação entre médias dos valores médios de germinação das sementes de algodão e amendoim, quando submetidas ao período de armazenamento de 180 dias.

Germinação Algodão					
Período de armazenamento	Temperaturas (°C)				
	25	-20	-60	-150	-196
30	81.0 aA	57.0 bcB	68.5 aB	65.0 aB	66.5 aB
60	70.0 abB	85.0 aA	70.0 aB	65.5 aB	64.5 aB
90	60.0 bcA	68.0 bA	63.5 aA	62.0 aA	67.0 aA
120	50.5 cdB	50.0 cdB	34.5 cC	64.0 aA	63.5 aA
150	48.0 cdBC	41.5 dC	62.5 aA	62.5 aA	57.5 aAB
180	47.0 dC	61.0bcAB	50.0 bBC	63.0 aA	64.0 aA
dms para colunas = 12.1987 Classific.c/letras minúsculas			dms para linhas = 11.6658 Classific.c/letras maiúsculas		

Germinação Amendoim					
Período de armazenamento	Temperaturas (°C)				
	25	-20	-60	-150	-196
30	52.5 aAB	60.0 aAB	56.0 aAB	66.0 aA	48.5 abB
60	53.5 aABC	61.5 aA	42.0 abBC	40.0 cC	55.0 aAB
90	54.0 aA	28.0 bC	32.0 bC	49.0 bcAB	37.5 bBC
120	60.5 aA	26.5 bcB	51.0 aA	51.5 abcA	54.5 aA
150	33.0 bB	12.5 cC	28.0 bB	62.0 abA	51.5 abA
180	35.5 bB	24.5 bcB	31.0 bB	52.0 abcA	54.5 aA
dms para colunas = 14.9024 Classific,c/letras minúsculas			dms para linhas = 14.2513 Classific.c/letras maiúsculas		

Na Tabela V.2 verifica-se a síntese de análise de variância da germinação e do vigor para as sementes de algodão Topázio e amendoim Havana.

Os resultados da análise de variância (Tabela V.2) indicam que as sementes estudadas obtiveram efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F para todos os fatores estudados e suas interações, com exceção da temperatura no vigor 1^o contagem da germinação e na interação tempo x temperatura também no vigor comprimento de plântula das sementes de algodão Topázio que não houve efeito significativo.

TABELA V.2 - Síntese da análise de variância da germinação e vigor das sementes de algodão Topázio e amendoim Havana.

FV	GL	Sementes					
		Algodão			Amendoim		
		Germinação (SQ)	Vigor		Germinação (SQ)	Vigor	
			1 ^o contagem (SQ)	Comp plântula (SQ)		1 ^o contagem (SQ)	Comp plântula (SQ)
Tempo	5	5698.40**	5995.46**	7.43**	5777.46**	5493.36**	51.34**
Temperatura	4	623.13**	282.46 ns	11.02**	5342.20**	4774.46**	101.49**
Tempo x temperatura	20	6585.26**	4227.53**	2.67 ns	10304.20**	8467.13**	89.42**
Resíduo	90	3156.00	2758.00	10.24	4710.00	3965.00	77.07
Total	119	16062.80	13263.46	31.37	26133.86	22699.96	319.34

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

As interpretações dos dados contidos Tabelas V.3 e V.4 indicam os resultados da germinação e vigor (1^a contagem da germinação, comprimento de plântula) para as sementes de algodão e amendoim com teor de água de 8% e 10% b.u, respectivamente, levando em consideração a média isolada do tempo e da temperatura.

TABELA V.3 - Valores médios da germinação e vigor das sementes de algodão Topázio, para os fatores período de armazenamento e temperaturas de armazenamento.

Período de Armazenamento (dias)	Germinação (%)	Vigor	
		1° Contagem da germinação(%)	Comprimento de plântula (cm)
30	67.60 ab	56.10 a	9.16 a
60	71.00 a	56.10 a	9.03 a
90	64.10 b	53.90 a	8.55 b
120	52.50 c	37.80 c	8.56 b
150	54.40 c	42.70 bc	9.09 a
180	57.00 c	45.80 b	9.01 a
dms = 5.45544		dms = 5.09986	dms = 0.31083

Temperatura de armazenamento (°C)	Germinação (%)	Vigor	
		1° Contagem da germinação (%)	Comprimento de plântula (cm)
25	59.41 ab	46.75 a	8.30 c
-20	60.41 ab	48.50 a	8.80 b
-60	58.16 b	49.58 a	9.00 a
-150	63.66 a	51.16 a	9.10 a
-196	63.83 a	47.66 a	9.10 a
dms = 4.76253		dms = 4.45212	dms = 0.27135

Constata-se na Tabela V.3 que as sementes de algodão quando armazenadas, obtiveram a melhor média de germinação aos 60 dias de armazenamento e com o aumento dos dias de germinação este índice sofreu uma redução significativa. Em relação as temperaturas observa-se que o armazenamento criogênico proporcionou as maiores médias na germinação das sementes de algodão. Quanto ao vigor das sementes, verifica-se que durante o armazenamento as médias da primeira contagem da germinação nos 30, 60 e 90 dias diferiram estatisticamente dos demais períodos, apresentando as maiores médias na germinação que foram de 56.10, 56.10 e 53.90 %, respectivamente. O comprimento das plântulas sofreu uma redução significativa aos 90 e 120 dias de armazenamento germinação distinguindo-se estatisticamente dos demais períodos de armazenamento. Com relação às temperaturas, não foi observado diferença significativa para o vigor primeira contagem da germinação, porém para o comprimento de plântula observou-se que a partir da temperatura de -60 até a de -196 °C ocorrendo um aumento para tal vigor. Já para as temperaturas de 25 e -20 °C percebeu-se uma menor média no comprimento das plântulas se destacando negativamente em comparação as demais temperaturas.

Analisando a Tabela V.4 percebeu-se uma diminuição considerável na germinação das sementes comparando o período de armazenamento de 30 e 180 dias, com uma redução de 30,2% na germinação, verifica-se este mesmo comportamento para o vigor primeira contagem da germinação, entretanto para o vigor comprimento de plântula as melhores médias foram observadas nos 30, 60 e 120 dias de armazenamento.

TABELA V.4 – Valores médios da germinação e vigor das sementes de amendoim Havana, para os fatores período de armazenamento e temperaturas de armazenamento.

Período de Armazenamento (dias)	Germinação (%)	Vigor	
		1° Contagem da germinação(%)	Comprimento de plântula (cm)
30	56.60000 a	49.20000 a	8.77500 ab
60	50.40000 ab	45.30000 ab	8.41000 ab
90	40.10000 c	34.20000 c	7.40500 c
120	48.80000 b	42.30000 b	9.15000 a
150	37.40000 c	31.50000 c	7.40000 c
180	39.50000 c	32.60000 c	8.06500 bc
		dms = 6.11480	dms = 0.85256

Temperatura de armazenamento (°C)	Germinação (%)	Vigor	
		1° Contagem da germinação (%)	Comprimento de plântula (cm)
25	48.16667 a	42.66667 a	8.67083 b
-20	35.50000 b	29.50000 b	7.64167 c
-60	40.00000 b	34.25000 b	6.78333 d
-150	53.41667 a	46.58333 a	9.47917 a
-196	50.25000 a	42.91667 a	8.42917 b
		dms = 5.33815	dms = 0.74427

Nas colunas, as médias seguidas da mesma letra, dentro de cada fator, não diferem entre si, pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Quanto à temperatura de armazenamento, constata-se que a 25 °C e nas temperaturas de nitrogênio líquido (-196 °C) e de sua fase de vapor (-150°C), proporcionaram as melhores médias de germinação. Este mesmo comportamento é observado para o vigor primeira contagem da germinação. Para o outro vigor estudado, comprimento de plântula, a temperatura de -150 °C obteve melhor desempenho se diferindo estatisticamente das demais temperaturas analisadas.

Nas Tabelas V.5 e V.6 verifica-se a interação da temperatura e do tempo no armazenamento ao comparar as médias do vigor para as duas sementes estudadas.

TABELA V.5 – Comparação das médias do vigor das sementes de algodão na interação tempo x temperatura.

Vigor (1ª contagem da germinação – (%)) Algodão					
Período de armazenamento	Temperaturas (°C)				
	25	-20	-60	-150	-196
30	60.0 aA	48.5 bcB	58.0 aAB	57.5 aAB	56.5 aAB
60	56.0 abA	63.0 aA	61.5 aA	55.5 aA	44.5 bB
90	48.0 bcB	59.5 abA	57.0 abAB	52.5 aAB	52.5 abAB
120	41.0 cdA	38.0 cdA	20.5 cB	47.5 aA	42.0 bA
150	36.5 dC	33.5 dC	54.0 abA	47.5 aAB	42.0 bBC
180	39.0 cdA	48.5 bcA	46.5 bA	46.5 aA	48.5 abA
DMS para colunas = 11,3188 Classific.c/letras minúsculas			DMS para linhas = 9,6482 Classific.c/letras maiúsculas		
Vigor (comprimento de plântula – cm) Algodão					
Período de armazenamento	Temperaturas				
	25	-20	-60	-150	-196
0	8.3750	9.0000	9.2750	9.5750	9.5750
30	8.375	8.9750	9.2250	9.5750	9.0250
60	8.1500	8.4250	8.6750	8.6750	8.8500
90	8.3750	8.5250	8.6000	8.7250	8.5750
120	8.4500	9.0000	9.3250	9.3250	9.3750
150	8.2750	9.2500	9.1750	9.1750	9.2000
180	8.3750	9.0000	9.2750	9.5750	9.5750

TABELA V.6 – Comparação das médias do vigor das sementes de amendoim na interação tempo x temperatura.

Vigor (1ª contagem da germinação – (%)) Amendoim					
Período de armazenamento	Temperaturas (°C)				
	25	-20	-60	-150	-196
30	45.0 aA	51.0 aA	48.5 aA	56.5 aA	45.0 aA
60	49.5 aAB	55.5 aA	38.0 abB	37.0 cB	46.5 aAB
90	48.0 aA	23.5 bC	27.5 bcC	42.0 bcAB	30.0 bBC
120	55.0 aA	19.5 bcB	44.5 aA	45.5 abcA	47.0 aA
150	29.5 bBC	9.5 cD	22.5 cCD	54.0 abA	42.0 abAB
180	29.0 bB	18.0 bcB	24.5 bcB	44.5 abcA	47.0 aA
DMS para colunas = 13.6731 Classific.c/letras minúsculas			DMS para linhas = 13.0758 Classific.c/letras maiúsculas		
Vigor (comprimento de plântula – cm) Amendoim					
Período de armazenamento	Temperaturas				
	25	-20	-60	-150	-196
30	9.9 aA	7.8 abB	8.9 aAB	9.0 abAB	8.0 abB
60	8.9 abcA	8.3 aAB	6.5 bB	9.1 abA	9.0 aA
90	8.3 abcA	6.9 abAB	6.3 bB	8.3 bA	7.0 bAB
120	9.5 abAB	8.3 aB	8.0 abB	10.7 aA	9.1 aAB
150	7.7 bcBC	6.0 bC	3.5 cD	10.8 aA	8.8 abB
180	7.5 cA	8.2 aA	7.3 abA	8.7 bA	8.4 abA
DMS para colunas 1.9064 Classific.c/letras minúsculas		DMS para linhas = 1.8231 Classific.c/letras maiúsculas			

VIEIRA et al. (2008) estudando a germinação e o armazenamento de sementes de camboatã (*cupania vernalis* cambess.) verificou para a temperatura de 25 °C, que a qualidade fisiológica das sementes foi prejudicada. Resultado semelhante foi encontrado por GIORDANI e SILVEIRA (2007) que constataram que a porcentagem de germinação das sementes armazenadas em temperatura ambiente decresceu em função do tempo de armazenamento.

SANTANA e CARVALHO (2006) constataram que sementes de *Baccharis trimera* armazenadas em geladeira (4 a 7°C) apresentaram percentual médio de germinação de 25,58%, superior ao das armazenadas no ambiente (17,26%), demonstrando o efeito benéfico da refrigeração no armazenamento dessas sementes.

Observando, ainda a Tabela V.3, verifica-se que a semente de amendoim se crioconserva melhor no vapor de nitrogênio líquido a $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ do que no nitrogênio líquido a $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$, embora se observe que, em ambos os métodos de crioconservação, a germinação das sementes sejam superiores às iniciais.

Ao que se conhece, as sementes não aumentam sua viabilidade durante a sua armazenagem, pois segundo POPINIGIS (1985), as sementes, ao atingirem sua maturidade fisiológica, atingem, também, o máximo de sua viabilidade e, a partir deste ponto, a semente, para se manter viva, consome suas reservas e, conseqüentemente, com o decorrer do tempo, diminui sua viabilidade. Portanto, um aumento da viabilidade da semente de algodão e amendoim, com o período de armazenagem, só poderia se dar pela quebra de dormência da semente, quando submetida à crioconservação. Este fato pode ser comprovado se baseando na discussão de TOLEDO E MARCOS FILHO (1977) que enfatizam que uma das formas de quebra de dormência nas sementes é submete-las ao frio.

STANWOOD e SOWA (1995), armazenaram 14 variedades de cebola nas temperaturas de 5 , -18 e $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante 10 anos e constataram que a germinação média das sementes mantidas a -18 e $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ não declinou ao longo do tempo, ficando em torno de 92%.

DINIZ et al. (1999) verificaram que as variedades de sementes de milho BR-451, BR-201, BR-2121 e CMS-54, quando são comparadas aos valores médios da germinação antes da crioconservação e após a crioconservação levando-se em consideração os efeitos dos métodos de descongelamento e períodos de armazenagem, sua viabilidade diminuída em 28,0 %; 15,5 %; 23,8 % e 15,3 %, respectivamente; para o vigor, esta diminuição é de 63,6 %, 36,8 %; 37,1 % e 7,0 % respectivamente. Em contrapartida, LACERDA et al. (2002) observaram que sementes de pau-ferro sob condições ambientais de armazenagem médias de $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ e 73% de umidade relativa do ar e quando crioarmazenadas a $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$, mantiveram sua qualidade fisiológica pelo tempo de 105 dias. GONZAGA et al. (2003) concluíram em sua pesquisa, que semente de baraúna, quando crioconservada nas temperaturas de $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 25 dias apresentam percentuais de germinação mais elevados que os iniciais, indicando haver durante este processo quebra de dormência dessas sementes pelo frio.

WETZEL et al. (2003) afirmam que a crioconservação vem comprovando sua eficiência na conservação a longo prazo para a maioria das espécies tolerantes à dessecação sugerindo ser uma forma de conservação da diversidade biológica.

V.3 - CONCLUSÕES

- A conservação criogênica das sementes de algodão Topázio e amendoim Havana aumentaram o percentual de germinação e o vigor das sementes estudadas, em razão dessa temperatura promover quebra de dormência pela ação do frio.
- Não obstante, a crioconservação parece ser uma boa alternativa para conservação das sementes estudadas.

V.4 – REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. A. C.; VILLAMIL, P.; GOUVEIA, J. P. G.de. Efeito de la crioconservacion sobre la germinacion de semillas de leguminosas. **Brasileira de Produtos Agroindustriais**. Campina grande, v.2, n.1, p.67-71, 2000.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília. SNAD/DNDV/CLAV, 1982. 365p.

CLEMENTE, C.; ROCHA, S.F.R.; COLE, D.M.; VIVAN J.L. Conservação on farm. In: Nass, L.L.(Ed.) **Recursos Genéticos Vegetais**. Brasília: Embrapa. p. 511-543. 2008

CROMARTY, A.; ELLIS, R.H.; ROBERTS E.H. The Design of Seed Storage Facilities for Genetic Conservation. Revised 1985. **International Board for Plant Genetic Resources**, Rome, 1982.

DINIZ, P.S.C.; CAVALCANTI -MATA, M.E.R.M.; BRAGA, M.E.D. Influência das técnicas de descongelamento na qualidade fisiológica de sementes de milho crioconservadas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande – PB, v. 1, n.1, p.1-12, 1999.

GIORDANI, S.C.O.; SILVEIRA F.A.O. efeito da temperatura de armazenamento na longevidade de sementes de Vernoniae (Asteraceae). **Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil**, 23 a 28 de Setembro, Caxambu – MG, 2007.

GONZAGA, T. W. C.; CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M.; SILVA, H.; DUARTE, M. E. M. Crioconservação de sementes de aroeira (*Astronium urundeuva* Engl.), e baraúna (*Schinopsis brasiliensis* Engl.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. Campina grande, v.5, n.2, p.145-154, 2003.

LACERDA, S.N.B.; CAVALCANTI MATA, M.E.R.M.; BRAGA,M.E.D.; SILVA, F.de A. S. e. Estudo comparativo da crioarmazenagem de sementes de pau-ferro (Caesalpinenae

férrea Mart.) com as técnicas convencionais de armazenagem. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande – PB, v.4, n.1, p.7-14, 2002.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. 2. ed. Brasília: ABRATES, 1985. 298p.

ROBERTS, E. H.; KING, M.W.; ELLIS, R. H. Recalcitrant seeds: their recognition and storage. In: HOLDEN, J. & H.W.; WILLIAMS, J.T. (eds.) **Crop genetic resources: Conservation and evolution**. London: Allen and Unwin, 1984.

SANTANA, A. M. S. E CARVALHO, R. I. N. 2006. Viabilidade e Capacidade de Armazenamento de sementes de Carqueja Coletadas em Três Municípios no Paraná. **Scientia Agrária**. v.7 n.1-2 15-20. 2006.

STANWOOD, P.C.; ROSS, E.E. Seed storage of several horticultural species in liquid nitrogen (-196 °C). **HortScience**, Alexandria, Virginia, v.14, p. 628-530, 1979.

STANWOOD, P.C.; SOWA, S. Evaluation of onion (*Allium cepa* L) seed after 10 years of storage at 5, -18 and 196 °C. **Crop Science**. v.35, p.852-856, 1995.,

TOLEDO, F.F. de; MARCOS FILHO, J. **Secagem de sementes**. In: TOLEDO, F.F. de; MARCOS FILHO, J. Manual das sementes: Tecnologia da produção. São Paulo: Agronômica Ceres, 1977, p.123-144.

VIEIRA, C, V.; ALVARENGA, A.A. de ; CASTRO, E. M. de; NERY, F.C.; SANTOS, M. de O. Germinação e armazenamento de sementes de camboatã (*Cupania vernalis* Cambess.) sapindaceae. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 444-449, mar./abr., 2008.

WETZEL, M.M.V.S; REIS, R.B.; RAMOS, K.M. Metodologia para crioconservação de sementes de espécies florestais nativas. **Circular Técnica**, Brasília, n.26, p. 1-5, set. 2003.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A preservação de recursos genéticos através da crioconservação de sementes é uma importante alternativa para minimizar problemas de deterioração biológica, pois permite a preservação do material biológico, mantendo a diversidade genética de uma imensa variedade de culturas por longos períodos em bancos de germoplasma.

De acordo com a literatura consultada, os sistemas organizados como sementes e embriões são os mais apropriados para a conservação de recursos genéticos, embora seja possível crioconservar partes distintas das plantas. O número expressivo de trabalhos com sementes crioconservadas demonstra o crescente interesse no estudo desse tipo de conservação. Ainda assim, as pesquisas com sementes oleaginosas devem ser incrementadas, sobretudo quanto aos aspectos fisiológicos envolvidos na germinação e dormência e a conservação da viabilidade mediante diferentes condições de armazenamento.

Pelos resultados desta e de outras pesquisas, há mais vantagens que desvantagens relacionadas ao método da crioconservação. Nesse caso, o germoplasma pode ser conservado em pequeno espaço, dentro dos botijões de nitrogênio líquido. Estes quando reabastecidos não demandam sistema de refrigeração ou mesmo de eletricidade.

SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

- Estudar as propriedades termofísicas em temperaturas ultra-baixas;
- Utilizar a microscopia eletrônica para avaliação de possíveis danos causados às sementes durante o processo de congelamento;
- Suscitar a possibilidade da utilização de crioprotetores;
- Avaliar outras possibilidades de descongelamento das sementes armazenadas.

