

**SECAGEM, ARMAZENAMENTO E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE  
SEMENTES DE CARAMBOLA (*Averrhoa carambola* L.)**

**MARCIA TEREZINHA RAMOS DE OLIVEIRA**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE  
DARCY RIBEIRO – UENF**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
MARÇO – 2007**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCTA/ UENF 046/2007

Oliveira, Marcia Terezinha Ramos de

Secagem, armazenamento e qualidade fisiológica de sementes de carambola (*Averrhoa carambola* L.) / Marcia Terezinha Ramos de Oliveira. – 2007.

93 f. : il.

Orientador: Pedro Amorim Berbert

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, RJ, 2007.

Bibliografia: f. 89– 93.

1. Semente de carambola 2. Germinação 3. Vigor 4. Armazenamento 5. Secagem I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. II. Título.

CDD– 634.6

**SECAGEM, ARMAZENAMENTO E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE  
SEMENTES DE CARAMBOLA (*Averrhoa carambola* L.)**

**MARCIA TEREZINHA RAMOS DE OLIVEIRA**

Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Pedro Amorim Berbert

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE  
DARCY RIBEIRO – UENF**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
MARÇO – 2007**

# **SECAGEM, ARMAZENAMENTO E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE CARAMBOLA (*Averrhoa carambola* L.)**

**MARCIA TEREZINHA RAMOS DE OLIVEIRA**

Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal

Aprovada em 30 de março de 2007

Comissão examinadora:

---

Professor Eduardo Fontes Araujo D.S., Produção Vegetal – UFV

---

Professor Henrique Duarte Vieira D.S., Produção Vegetal – UENF

---

Professor Roberto Ferreira da Silva Ph.D., Horticultura – UENF

---

Professor Pedro Amorim Berbert Ph.D., Engenharia Agrícola – UENF  
Orientador

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro pela oportunidade de realização deste curso e pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Pedro Amorim Berbert pela orientação, amizade, paciência, respeito, apoio e confiança durante todo trabalho.

Aos professores conselheiros, Henrique Duarte Vieira e José Tarcísio Lima Thiébaud, pelas valiosas sugestões e ensinamentos.

Ao Vinicius de Oliveira Carlesso pela amizade, sugestões e auxílio durante todo o trabalho.

Aos funcionários do Laboratório de Engenharia Agrícola do Centro de Ciências e Tecnologias Agrárias da UENF, Ana Maria Carvalho Braga Pessanha, Julio César de Meirelles e Sandra Marcia Nunes Monteiro, pela amizade e companheirismo.

Às funcionárias da Coordenação de Pós-graduação em Produção Vegetal, Maria de Fátima dos Santos Sampaio, Luciana Tavares Nogueira e Patrícia Laurindo, pela atenção e presteza, e ao Coordenador professor Antônio Teixeira do Amaral Júnior pelo apoio.

Aos colegas do curso de Pós-graduação, Cátia Regina Eklund e Wellington Gonzaga do Vale, e a todos que, de maneira geral, sempre foram companheiros e amigos.

Aos amigos, filhos e sobrinha que, com carinho, disposição e paciência colaboraram na parte experimental do trabalho: Caroline Campelo da Silva, Mariah Oliveira Moreira, Rafaela Oliveira Moreira, Leandro Oliveira Moreira, Tiago Oliveira Moreira e Camila Ramos de Oliveira Nunes.

Aos meus pais, Maria Célia Ramos de Oliveira e José Almeida de Oliveira, às minhas irmãs, Maria Letícia Ramos de Oliveira e Daniela Ramos de Oliveira, e especialmente ao meu marido, Antônio Sérgio Nascimento Moreira, pelo amor e pela ajuda nas horas difíceis.

À doutora Rozimar de Campos Pereira pelo incentivo, amizade e pelas sugestões ao longo dessa jornada.

A todos aqueles que estiveram comigo, durante esta jornada, os meus agradecimentos.

E a Deus, por tudo.

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	ii
LISTA DE FIGURAS .....	vi
LISTA DE TABELAS .....	xii
RESUMO .....	xiv
ABSTRACT .....	xvii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	5
2.1 Origem e descrição botânica da caramboleira e caracterização do seu fruto .....	7
2.2 Comercialização dos frutos .....	13
2.3 Qualidade fisiológica das sementes .....	14
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	17
3.1 Avaliação da qualidade fisiológica das sementes .....	17
3.2 Primeira etapa experimental .....	18
3.2.1 Interpretação dos resultados de germinação e vigor .....	23
3.3 Segunda etapa experimental .....	24
3.3.1 Caracterização biométrica dos frutos .....	24
3.3.2 Caracterização da cor externa dos frutos .....	25
3.3.3 Caracterização físico-química .....	26
3.3.4 Manuseio e secagem das sementes .....	26
3.4 Análise estatística dos dados .....	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	31
4.1 Primeira etapa experimental .....	31

4.1.1	Secagem das sementes de carambola .....	31
4.1.2	Avaliação da qualidade fisiológica das sementes .....	38
	Etapa experimental 2 .....	59
4.2		
4.2.1	Caracterização biométrica e físico-química dos frutos ..	59
4.2.2	Secagem de sementes de carambola .....	66
4.2.3	Avaliação da qualidade fisiológica das sementes de carambola em laboratório .....	69
4.2.4	Avaliação da qualidade fisiológica das sementes de carambola em ambiente protegido .....	78
5.	RESUMO E CONCLUSÕES .....	86
5.1	Etapa experimental 1 .....	87
5.2	Etapa experimental 2 .....	88
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	89

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura nº</b>	<b>Título da figura</b>	<b>Pag.</b>
Figura 1.	Número de artigos científicos sobre a carambola na base de dados AGRICOLA, entre 1996 e 2006. Fonte: USDA (2006a) .....	6
Figura 2.	Sementes de carambola com e sem o arilo .....	9
Figura 3.	Quantidade comercializada de carambola na Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo entre 1996 e 2005. Fonte: CEAGESP (2006) .....	13
Figura 4.	Secador protótipo de camada delgada utilizado na secagem das sementes de carambola .....	20
Figura 5.	Detalhes do secador protótipo de camada delgada, mostrando a válvula do tipo diafragma para regulação da entrada do ar (a) e o conjunto de esferas de vidro para uniformização do fluxo de ar de secagem (b) .....	20
Figura 6.	Sementes de carambola espalhadas em peneira de aço, formando uma camada delgada para secagem por convecção em ar aquecido .....	21
Figura 7.	Critérios de classificação dos frutos de caramboleira quanto ao tamanho e estágio de maturação .....	25
Figura 8.	Variação do teor de água em função do tempo de secagem de sementes de carambola para fluxo de ar seco de $1,136 \pm 0,079 \text{ kg s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ e valores indicados de temperatura. $\Delta$ , 30 °C (teste 1); O, 34 °C (teste 2) e $\square$ , 38 °C (teste 3) .....	34

<b>Figura nº</b>	<b>Título da figura</b>	<b>Pag.</b>
Figura 9.	Sementes de carambola provenientes de frutos fermentados e recolhidos do solo, mostrando fissuras no tegumento. As sementes foram secadas a 34 °C e 1,0 m s <sup>-1</sup> e permaneceram armazenadas por 90 dias, sendo posteriormente imersas por 4 h em água destilada .....	35
Figura 10.	Sementes íntegras de carambola imediatamente depois da secagem a 38 °C e 1,0 m s <sup>-1</sup> , provenientes de frutos sadios e colhidos da árvore em diversos estádios de maturação .....	35
Figura 11.	Variação do teor de água em função do tempo de secagem de sementes de carambola para fluxo de ar seco de 1,145±0,006 kg s <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> e valores indicados de temperatura. O, 34 °C (teste 7) e □, 38 °C (teste 8) .....	37
Figura 12.	Protrusão da raiz primária de semente de carambola aos 35 dias do teste de germinação. Teores de água inicial e final de 29 e 5% b.u., secagem a 38 °C e 60 dias de armazenamento a 15 °C .....	38
Figura 13.	Plântula normal de caramboleira aos 35 dias do teste de germinação. Teores de água inicial e final de 29 e 5% b.u., secagem a 38 °C e 60 dias de armazenamento a 15 °C .....	39
Figura 14.	Plântula anormal de caramboleira aos 35 dias do teste de germinação. Teores de água inicial e final de 29 e 5% b.u., secagem a 38 °C e 60 dias de armazenamento a 15 °C .....	39
Figura 15.	Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para proporção de germinação de sementes de carambola, para as condições dos testes 1, 2 e 3. Sementes sem secar (A); sementes imediatamente depois da secagem (B) .....	41
Figura 16.	Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para proporção de germinação de sementes de carambola, para as condições dos testes 4, 5 e 6. Sementes sem secar (A); sementes imediatamente depois da secagem (B). Teste 5(B): valor não disponível .....	41
Figura 17.	Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para proporção de germinação de sementes de carambola imediatamente depois da secagem (dia zero) e aos 45, 60, 90, 180 e 270 dias de armazenamento. (a) teste 1; (b) teste 2; (c) teste 3 .....	43

<b>Figura nº</b>	<b>Título da figura</b>	<b>Pag.</b>
Figura 18.	Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para proporção de germinação de sementes de carambola imediatamente depois da secagem (dia zero) e aos 45, 60, 90, 180 e 270 dias de armazenamento. (a) teste 4; (b) teste 5; (c) teste 6. *antes da secagem .....	44
Figura 19.	Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para proporção de germinação de sementes de carambola, para as condições dos testes 7 e 8. Sementes sem secar (A); sementes imediatamente depois da secagem (B) .....	48
Figura 20.	Semente deteriorada de carambola aos 35 dias do teste de germinação. Teores de água inicial e final de 54 e 5% b.u., secagem a 38 °C e 45 dias de armazenamento a 15 °C .....	48
Figura 21.	Plântula anormal de carambola aos 35 dias do teste de germinação, mostrando escurecimento das raízes. Teores de água inicial e final de 54 e 5% b.u., secagem a 38 °C e 45 dias de armazenamento a 15 °C .....	49
Figura 22.	Plântula anormal de carambola aos 35 dias do teste de germinação, mostrando encurtamento das raízes. Teores de água inicial e final de 54 e 5% b.u., secagem a 38 °C e 45 dias de armazenamento a 15 °C .....	49
Figura 23.	Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para proporção de germinação de sementes de carambola (teste 2), imediatamente depois da secagem (dia zero) e aos 45, 60, 90, 180 e 270 dias de armazenamento. Sementes sem embebição (A); sementes submetidas a embebição (B) .....	51
Figura 24.	Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para valores médios do IVG de sementes de carambola, para as condições dos testes 1, 2 e 3. Sementes sem secar (A); sementes imediatamente depois da secagem (B) .....	52
Figura 25.	Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para valores médios do IVG de sementes de carambola, para as condições dos testes 4, 5 e 6. Sementes sem secar (A); sementes imediatamente depois da secagem (B) .....	52
Figura 26.	Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para valores médios do $t_{\text{médio}}$ de sementes de carambola, para as condições dos testes 1, 2 e 3. Sementes sem secar (A); sementes imediatamente depois da secagem (B) .....	53

<b>Figura nº</b>	<b>Título da figura</b>	<b>Pag.</b>
Figura 27.	Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para valores médios do $t_{\text{médio}}$ de sementes de carambola, para as condições dos testes 4, 5 e 6. Sementes sem secar (A); sementes imediatamente depois da secagem (B) .....	53
Figura 28.	Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para o IVG de sementes de carambola imediatamente depois da secagem (dia zero) e aos 45, 60, 90, 180 e 270 dias de armazenamento. (a) teste 1; (b) teste 2; (c) teste 3 .....	54
Figura 29.	Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para o IVG de sementes de carambola imediatamente depois da secagem (dia zero) e aos 45, 60, 90, 180 e 270 dias de armazenamento. (a) teste 4; (b) teste 5; (c) teste 6 .....	55
Figura 30.	Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para o $t_{\text{médio}}$ de sementes de carambola imediatamente depois da secagem (dia zero) e aos 45, 60, 90, 180 e 270 dias de armazenamento. (a) teste 1; (b) teste 2; (c) teste 3 .....	57
Figura 31.	Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para o $t_{\text{médio}}$ de sementes de carambola imediatamente depois da secagem (dia zero) e aos 45, 60, 90, 180 e 270 dias de armazenamento. (a) teste 4; (b) teste 5; (c) teste 6 .....	58
Figura 32.	Histograma da frequência de distribuição do número de sementes por fruto (lote 12) .....	63
Figura 33.	Variação do teor de água em função do tempo de secagem na primeira etapa do processo, a $38,0 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ e razão da mistura de $0,018 \pm 0,002$ , para os testes 9, 10 e 11 .....	68
Figura 34.	Variação do teor de água em função do tempo de secagem na segunda etapa do processo, a $37,3 \pm 1,2^{\circ}\text{C}$ e razão da mistura de $0,017 \pm 0,002$ , para os testes 9 e 11 .....	69
Figura 35.	Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para proporção de germinação de sementes de carambola, antes e logo depois da secagem, e armazenadas por 90 e 180 dias, a cerca de $10^{\circ}\text{C}$ em B.O.D e em temperatura ambiente, em embalagem permeável .....	72
Figura 36.	Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para proporção de germinação de sementes de carambola, antes e logo depois da secagem, e armazenadas por 90 e 180 dias, a cerca de $10^{\circ}\text{C}$ em B.O.D e em temperatura ambiente, em embalagem impermeável a vácuo .....	73

<b>Figura nº</b>	<b>Título da figura</b>	<b>Pag.</b>
Figura 37.	Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para o IVG de sementes de carambola, antes e logo depois da secagem, e armazenadas por 90 e 180 dias, a cerca de 10 °C em B.O.D e em temperatura ambiente, em embalagem permeável .....	75
Figura 38.	Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para o IVG de sementes de carambola, antes e logo depois da secagem, e armazenadas por 90 e 180 dias, a cerca de 10 °C em B.O.D e em temperatura ambiente, em embalagem impermeável .....	76
Figura 39.	Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para o $t_{médio}$ de sementes de carambola, antes e logo depois da secagem, e armazenadas por 90 e 180 dias, a cerca de 10 °C em B.O.D e em temperatura ambiente, em embalagem permeável .....	77
Figura 40.	Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para o $t_{médio}$ de sementes de carambola, antes e logo depois da secagem, e armazenadas por 90 e 180 dias, a cerca de 10 °C em B.O.D e em temperatura ambiente, em embalagem impermeável.....	77
Figura 41.	Plantas de caramboleira em ambiente protegido .....	79
Figura 42.	Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para proporção de germinação de sementes de carambola em condições de laboratório (LAB) e em ambiente protegido (AP), antes e logo depois da secagem .....	80
Figura 43.	Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para o IVG de sementes de carambola, antes e logo depois da secagem, em ambiente protegido .....	81
Figura 44.	Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para o $t_{médio}$ de sementes de carambola, antes e logo depois da secagem, em ambiente protegido .....	81
Figura 45.	Curva de crescimento das plantas de caramboleira em função da idade. ----, sementes recém retiradas dos frutos, sem secar, com teor de água de 48% b.u.; —, sementes logo depois da secagem a 38 °C, com teor de água de 7% b.u. ....	83

<b>Figura nº</b>	<b>Título da figura</b>	<b>Pag.</b>
Figura 46.	Imagem de planta de caramboleira (a), com detalhes da parte aérea (b) e raiz (c). Planta originada de semente plantada logo depois da secagem a 38 °C, nas condições especificadas na Tabela 18 para o teste 9. Fotografia retirada 70 dias depois da abertura do cotilédone .....	83
Figura 47.	Varição da massa de matéria seca da parte aérea de plantas de caramboleira em função da idade. ----, sementes recém retiradas dos frutos, sem secar, com teor de água de 48% b.u.; —, sementes logo depois da secagem a 38 °C, com teor de água de 7% b.u. ....	84

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela nº</b>	<b>Título da tabela</b>	<b>Pag.</b>
Tabela 1.	Média ou intervalo de variação das variáveis biométricas e físico-químicas de carambolas obtidas por diferentes autores .....	10
Tabela 2.	Composição da carambola crua por 100 g de parte comestível: centesimal, minerais e vitaminas .....	10
Tabela 3.	Composição da solução nutritiva padrão aspergida em três ocasiões no substrato utilizado no teste de germinação das sementes de carambola em ambiente protegido .....	28
Tabela 4.	Procedência dos frutos, data de realização dos testes de secagem, condições médias do ar e das sementes de carambola durante os testes e tempo de secagem para teores de água iniciais de 43,9±0,6% b.u. (Testes 1, 2 e 3), 42,1±1,5% b.u. (Teste 4), 34,4±0,0% b.u. (Teste 5) e 29,2±0,8% b.u. (Teste 6) .....	32
Tabela 5.	Data de realização dos testes de secagem, condições médias do ar e das sementes de carambola e tempo de secagem para teores de água iniciais de 52,9±0,1% b.u. (teste 7) e 53,8±0,8% b.u. (teste 8) .....	36
Tabela 6.	Porcentagem de germinação de sementes de carambola, antes e imediatamente depois da secagem, para os testes 1 a 6 .....	40
Tabela 7.	Porcentagem de germinação de sementes de carambola em função do período de armazenamento, para os testes 1 a 6 .....	40

<b>Tabela nº</b>	<b>Título da tabela</b>	<b>Pag.</b>
Tabela 8.	Porcentagem de germinação de sementes de carambola, antes e imediatamente depois da secagem, para teores de água iniciais de 53% b.u. (teste 7) e 54% b.u. (teste 8) e temperaturas de secagem de 34 e 38 °C .....	46
Tabela 9.	Média e desvio padrão dos parâmetros biométricos massa, comprimento e diâmetro equatorial dos frutos frescos de carambola .....	60
Tabela 10.	Média e desvio padrão do número de sementes por fruto e de algumas das características físico-químicas de frutos frescos de carambola .....	61
Tabela 11.	Procedência dos frutos, condições médias do ar e das sementes de carambola, tempo de secagem e data de realização dos testes 9, 10 e 11 .....	67
Tabela 12.	Resumo das condições experimentais a que foram submetidas as sementes de carambola na segunda etapa do trabalho .....	70
Tabela 13.	Percentual de sementes de carambola que germinaram, dando origem a plântulas normais e anormais, percentual de sementes dormentes e deterioradas, para dez condições avaliadas .....	71
Tabela 14.	Percentual de germinação de sementes de carambola em função do período de armazenamento, tipo de embalagem, temperatura média de secagem e teores de água inicial e final .....	72
Tabela 15.	Valores médios das condições climáticas relevantes em Campos dos Goytacazes, RJ, para a época de execução dos trabalhos de avaliação da qualidade fisiológica de sementes de carambola em ambiente protegido .....	79
Tabela 16.	Equações de regressão para a altura das plantas $h$ (cm) de caramboleira, em função da idade $t$ (dia), originadas de sementes sem secar, com teor de água de 48% b.u., e depois de secadas a 38 °C, com teor de água de 7% b.u. ....	83
Tabela 17.	Equações de regressão para a massa de matéria seca da parte aérea das plantas $\hat{m}$ (g) de caramboleira, em função da idade $t$ (dia), originadas de sementes sem secar, com teor de água de 48% b.u., e depois de secadas a 38 °C, com teor de água de 7% b.u. ....	85

## RESUMO

OLIVEIRA, Marcia Terezinha Ramos de; M.S.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; Março de 2007; Secagem, armazenamento e qualidade fisiológica de sementes de carambola (*Averrhoa carambola* L.); Professor Orientador: Pedro Amorim Berbert. Professores Conselheiros: Henrique Duarte Vieira e José Tarcísio Lima Thiébaud.

Este trabalho foi realizado com os seguintes objetivos: avaliar os efeitos imediato e latente da temperatura do ar de secagem e do teor de água inicial na qualidade fisiológica de sementes de carambola em condições controladas de laboratório; comparar o efeito de dois tipos de embalagem, permeável e impermeável, sob duas condições de estocagem, ambiente e câmara refrigerada a 10 °C, na viabilidade das sementes ao longo de três e seis meses de armazenamento e determinar a qualidade fisiológica das sementes propagadas em ambiente protegido. A análise estatística dos dados foi feita empregando-se o método de Amostragem Simples ao Acaso. As amostras foram dimensionadas considerando  $\alpha = 5\%$  e  $d = 5\%$  da média amostral. Os intervalos de confiança para proporção e porcentagem foram obtidos com probabilidade de 95%. Devido à dificuldade de obtenção de sementes em número suficiente para a realização de todos os testes em uma única fase, o trabalho experimental foi dividido em duas etapas. Na primeira delas, os testes foram realizados empregando-se três níveis de temperatura do ar de secagem, 30, 34 e 38 °C, um nível de fluxo de ar seco de secagem,  $1,123 \text{ kg s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ , seis períodos de armazenamento a 15 °C (zero, 45,

60, 90, 180 e 270 dias) e níveis variáveis de teores de água inicial (29 a 54% b.u.) e final (5 a 14% b.u.). Os testes de secagem foram realizados de forma contínua, em camada delgada, em protótipo de secador de bandejas, com fluxo de ar tangencial. As sementes foram extraídas de seis lotes de frutos adquiridos no mercado local ou colhidos em pomares, em diversos estádios de maturação, de tamanho e formato variáveis. Dois testes adicionais foram realizados com sementes retiradas de lotes de frutos colhidos em estágio avançado de maturação e que continham, também, frutos recolhidos do solo que se encontravam em processo de fermentação. A avaliação da qualidade fisiológica foi feita por meio de testes de vigor (Índice de Velocidade de Germinação, IVG, e Tempo Médio de Germinação,  $t_{\text{médio}}$ ) e do teste de germinação, com duração de 35 dias. Em geral, não houve efeito imediato significativo da temperatura do ar de secagem nem do teor de água final das sementes sobre o percentual de germinação, que se manteve entre 65 e 77%, nos melhores casos. O período de armazenamento entre zero e 90 dias, para qualquer dos valores de temperatura de secagem, teve efeito negativo sobre o percentual de germinação. No entanto, a germinação aumentou significativamente quando o período de armazenamento estendeu-se de 90 para 180 dias, revelando que a secagem induziu algum mecanismo de dormência nas sementes, com sua superação em determinado momento desse período. Em apenas um dos testes observou-se que, aos 180 dias de armazenamento, as sementes passaram a apresentar percentual de germinação maior que aqueles observados antes e imediatamente depois da secagem; entre 180 e 270 dias, houve redução significativa no percentual de germinação. Dentre as condições testadas, as sementes secadas a 38 °C e armazenadas por 180 dias a 15°C foram as que apresentaram maior proporção de germinação (85%). Os resultados também mostraram que sementes obtidas de frutos fermentados perdem a viabilidade, apresentando germinação máxima de 16%. Além disso, a embebição por imersão das sementes em água por 4 h antes da semeadura não teve efeito significativo sobre a germinação, em nenhuma das condições avaliadas. Quanto ao vigor, observou-se que, durante a estocagem, valores de IVG superiores àquele verificado depois da retirada das sementes dos frutos, foram observados apenas para sementes secadas a 38 °C e armazenadas por 180 e 270 dias. Na segunda etapa do trabalho, os testes foram realizados empregando-se apenas um nível de temperatura do ar de secagem, 38 °C; um

nível de fluxo de ar seco de secagem,  $1,025 \text{ kg s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ; três períodos de armazenamento a  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  (zero, 90 e 180 dias); dois tipos de embalagem, permeável e impermeável a vácuo; teor de água inicial de 48% b.u. e teor de água final de 6 a 9% b.u. A avaliação da qualidade fisiológica foi feita em condições controladas de laboratório em germinador, com duração de 84 dias, e em ambiente protegido, em tubetes de  $115 \text{ cm}^3$  contendo substrato comercial, com duração de 110 dias. Os resultados obtidos nos testes de laboratório revelaram que as sementes podem ser armazenadas em embalagem impermeável a vácuo, sem redução do poder germinativo, por 90 ou 180 dias a  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  e, por 90 dias em condição ambiente ( $25 \text{ }^\circ\text{C}$  e 61% de umidade relativa), em embalagem permeável. A análise dos resultados evidenciou também que, independentemente do período e da temperatura de armazenamento, o vigor estimado pelo IVG e pelo  $t_{\text{médio}}$ , foi consistentemente maior para as sementes estocadas em embalagens impermeáveis a vácuo. Em ambiente protegido, a secagem a  $38 \text{ }^\circ\text{C}$  contribuiu para o aumento do percentual de germinação de 74% (sementes recém-retiradas dos frutos) para 98%. A curva de crescimento e a variação da massa da matéria seca da parte aérea, em função do tempo, revelaram que as plântulas mais vigorosas foram as originadas de sementes que passaram pelo processo de secagem. Não houve diferença significativa entre os índices de vigor estimados pelo  $t_{\text{médio}}$  e pelo Índice de Velocidade de Emergência, IVE, quando se comparam plantas originadas de sementes recém-retiradas dos frutos com aquelas obtidas a partir de sementes secadas.

## ABSTRACT

OLIVEIRA, Marcia Terezinha Ramos de; MSc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; March 2007; Drying, storage and physiological quality of carambola seeds (*Averrhoa carambola* L.); Supervised by Pedro Amorim Berbert, Ph.D. Thesis Committee members: Dr. Henrique Duarte Vieira and Dr. José Tarcísio Lima Thiébaud.

The objectives of this research were: 1) Evaluate the immediate and latent effects of drying-air temperature and initial moisture content of carambola seeds on their physiological quality determined under controlled conditions in seed germination chambers; 2) Compare the effect of two types of packaging, water vapour permeable and impermeable, under laboratory conditions, and inside a 10 °C refrigerated chamber, on seed viability for three and six months; 3) Determine seed physiological quality by raising seedlings under protected environment. Statistical analyses were performed using the simple random sampling technique. The determination of sample size was made considering a 5% margin of error (d) in the estimated germination proportion, with a 5% risk ( $\alpha$ ) that the actual error is larger than d. Confidence limits for germination proportion and percentage germination were calculated at the 95 percent level. Due to the difficulty in obtaining a sufficient number of seeds to perform all the tests in a single experiment, the work was carried out in two stages. In the first stage, tests were conducted employing three levels of drying-air temperature (30, 34, and 38 °C), one level of dry air flow rate ( $1.123 \text{ kg s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ), six storage periods (0, 45, 60, 90,

180 and 270 days), initial and final moisture contents ranging from 29 to 54% w.b. and from 5 to 14% w.b., respectively. Seeds were stored at 15 °C. A continuous-flow thin-layer prototype dryer with an air inlet providing a tangential airflow was used. Seeds were extracted from six lots of fruits obtained from local markets or harvested from trees growing in local orchards. Fruit maturation stage, size and shape were not uniform. Two additional tests were performed using seeds extracted from fruits harvested at advanced stages of maturity, and also from fruits in various degrees of fermentation which were collected on the ground. Physiological quality was assessed through seed vigour tests (germination speed index and mean time of germination) and through a 35-day germination test. No immediate effect of drying-air temperature or of seed initial moisture content on germination percentage has been observed. Values of mean germination percentage immediately after drying varied from 65 to 77% at best. The 90-day storage period, irrespective of drying-air temperature, had a deleterious effect on seed germination. However, percentage germination significantly increased when the duration of the storage period was extended from 90 to 180 days. This result reveals that the convective drying induced some seed dormancy mechanism which was broken some time within that period. At the end of a 180-day storage period, only one of the experimental conditions promoted a higher germination percentage in relation to the values observed for fresh seeds and seeds immediately after drying. Germination percentage declined steadily between 180 and 270 days of storage. Seeds convectively dried at 38 °C, and hermetically stored for 180 days at 15 °C produced the best results in terms of germination percentage (85%). The results also revealed that seeds extracted from over ripe and fermented fruits lose their viability; the maximum germination percentage for these seeds was 16%. Seed imbibition in distilled water for 4 h had no effect in germination percentage. Evaluation of the effect of storage conditions on seed vigour revealed that values of germination speed index higher than those observed for fresh seeds were only attained for seeds dried at 38 °C and stored for 180 and 270 days. In the second stage of this research, the seeds were dried employing a single level of drying-air temperature (38 °C), only one level of dry air flow rate ( $1.025 \text{ kg s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ), three storage periods at 10 °C (0, 90, and 180 days), two types of packaging, permeable and vacuum sealed, seed initial moisture content of 48% w.b., and final moisture contents ranging from 6 to 9% w.b. Seed

physiological quality was assessed by raising seedlings for 85 days in a 10 °C refrigerated chamber, and for 110 days under a protected environment using 115 cm<sup>3</sup> rigid plastic tubes filled with a lightweight commercial seed-starting medium. The results obtained through germination testing in a refrigerated chamber showed that carambola seeds can be stored for 90 or 180 days at 10 °C, in vacuum-sealed packaging, without impairing their physiological quality. Seeds may also be stored in water vapour-permeable packaging at ambient condition (25° C and 61% relative humidity). Vigour estimated through the germination speed index and the mean time of germination was consistently higher for seeds stored in vacuum-sealed packaging, irrespective of storage time and temperature. For tests conducted in a protected environment, the percentage germination of fresh seeds and seeds dried at 38 °C were 74% and 98%, respectively. The curves representing plant growth rate, and the dry mass accumulation rate of the aerial parts of the plant, revealed that more vigorous plants were obtained from seeds which had been submitted to drying. There was no significant difference between fresh and dried seed vigour, as estimated by the speed of emergence index and by the mean time of germination.

## 1. INTRODUÇÃO

A caramboleira (*Averrhoa carambola* L.), frutífera exótica pertencente à família Oxalidaceae, é originária do sudoeste asiático e atualmente encontra-se dispersa em regiões tropicais e em áreas quentes de regiões subtropicais de todos os continentes. Foi introduzida no Brasil no início do século XVIII, mas atualmente é cultivada em todo o país em pomares domésticos, exceto em regiões frias ou sujeitas a geadas, havendo, entretanto, poucas plantações comerciais (Crane, 1994; Donadio et al., 2001).

Da caramboleira, utilizam-se as flores como ingredientes no preparo de saladas em alguns países asiáticos e as folhas são citadas na farmacopéia indiana. O fruto é muito valorizado devido à sua aparência e formato pouco usuais. Dependendo da variedade, pode ser adocicado ou ácido, e é consumido tanto *in natura*, como na forma de passa, *chutney*, sucos, geléias, compotas, doces, sorvetes, licores, picles e saladas. As folhas e os frutos são empregados na medicina caseira em várias regiões do país, sendo utilizados nos tratamentos de disenteria, escorbuto e febres (Crane, 1994; Lorenzi e Matos, 2002; Bastos, 2004). O sumo do fruto, rico em ácido oxálico, é utilizado para tirar manchas de tintas e ferrugens e para limpar metais (Epstein, 2000). O fruto é considerado, ainda, ótima fonte de vitamina C e boa fonte de vitamina B<sub>1</sub>.

Poucos países têm produção comercial de carambola. Taiwan é o primeiro produtor, com 2.875 ha; o segundo é a Malásia, com 896 ha. Existe também produção nas Filipinas, Índia, Tailândia, Austrália e Israel; nas Américas, o maior produtor, em 1989, era a Guiana; outros países americanos produzem para um incipiente mercado interno, como os Estados Unidos (Flórida e Hawaii), a Colômbia e alguns países do Caribe (Crane, 1994; Donadio et al., 2001). No Brasil, estima-se que a área plantada seja de aproximadamente 300 ha, localizada predominantemente na região Sudeste, particularmente no Estado de São Paulo, onde a quantidade comercializada tem crescido a cada ano, com decréscimo apenas no ano de 1999. Em 1996, a quantidade comercializada na Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo – CEAGESP – foi de cerca de 356 t; em 2005 esse valor foi de 3.308 t, tendo ocorrido, portanto, aumento de 830% em 10 anos, o que evidencia o interesse crescente pela fruta. Em 2006, até agosto, foram comercializadas cerca de 2.900 t. Por ser sazonal, a oferta de carambola leva à variação de preços. Considerando os dois tipos de caixas mais comuns, de 6 e 15 kg, em todos os anos, no período de outubro a dezembro há menor volume comercializado, alcançando assim os maiores preços (Bastos, 2004; CEAGESP, 2006).

Parte dos escassos relatos existentes na literatura, a respeito da qualidade fisiológica de sementes de carambola, sugere, pois não há dados comprobatórios, que a perda de viabilidade ocorreria poucos dias depois de sua retirada dos frutos. Mesmo assim, observa-se que a maioria dos pomares comerciais existentes no Brasil e nos demais países é originada a partir de sementes. Uma das exceções encontra-se na Flórida (EUA), onde a enxertia, por garfagem ou borbúlia, é o principal método de propagação (Crane, 1994; Donadio et al., 2001). Nakasone e Paull (1998), citados por Bastos et al. (2004), alegam que, no caso de reprodução por sementes, as desvantagens seriam a ocorrência de grande variabilidade genética e de maior período para iniciar a produção, o que contribuiria para que esse método seja restrito à formação de porta-enxertos.

A respeito desse assunto, Lorenzi et al. (2006) salientam a importância do estudo da qualidade fisiológica de sementes de fruteiras, mesmo que os resultados venham a ser utilizados preferencialmente na produção de porta-

enxertos. De acordo com esses autores, fruteiras como a caramboleira, freqüentemente consideradas de menor importância, podem desempenhar papel fundamental na agricultura, justamente ao serem utilizadas como porta-enxertos resistentes a doenças de solos e, também, como base para hibridização, tendo por objetivo a obtenção de cultivares de melhor sabor, mais tolerantes ao transporte ou resistentes a determinadas pragas e doenças. Na fruticultura, foi esse o processo ocorrido no melhoramento de frutas cítricas.

Ellis et al. (1985) sugerem que as sementes de todas as mais de 500 espécies do gênero Oxalidaceae apresentariam comportamento ortodoxo durante o armazenamento. Afirmam, apesar de não apresentarem informações detalhadas sobre o processo de germinação e a ocorrência de mecanismos de dormência, que, à primeira vista, seriam comparativamente pequenos os problemas que poderiam ocorrer na realização dos testes de qualidade fisiológica.

Bastos (2005) estudou diversos processos na tentativa de aumentar a eficiência de propagação por estaquia em caramboleira, espécie cujas estacas caulinares não enraízam com facilidade, e não obteve resultados satisfatórios. As técnicas de estiolamento e fermento na base da estaca foram prejudiciais à formação de raízes adventícias e a aplicação de reguladores de crescimento não mostrou diferença significativa para o enraizamento dos tipos de estacas estudados.

Considera-se, portanto, que a falta de informações a respeito da reprodução e propagação da caramboleira é um dos fatores limitantes para a expansão comercial da fruteira. De qualquer maneira, qualquer que seja o método que venha a ser mais explorado comercialmente, é indubitável que a carência de informações sobre a reprodução sexuada da espécie é uma lacuna que precisa ser preenchida. Além disso, a maioria dos estudos sobre o efeito da secagem na qualidade fisiológica de sementes de fruteiras tropicais é realizada ao sol ou à sombra e, no caso da secagem artificial com ventilação forçada, são poucos os trabalhos realizados sob condições controladas de fluxo de ar e razão da mistura do ar de secagem. Processos não controlados de secagem podem promover queda na germinação das sementes ou mesmo plantas pouco vigorosas, trazer baixa produtividade para a lavoura e grande desuniformidade de produção.

Afora os aspectos mencionados anteriormente, verifica-se, também, que há forte relação entre a secagem, o período e as condições de armazenamento e o período de viabilidade das sementes (Ellis e Roberts, 1980). Até o momento, não foram encontrados relatos na literatura sobre o efeito das condições de armazenamento, ou seja, tipo de embalagem e temperatura, sobre a qualidade fisiológica das sementes de carambola. Sekiya e Cunha (1999) afirmam ter estudado a influência do armazenamento na germinação de sementes de caramboleira, mas, na realidade, o trabalho mostra apenas o efeito latente da secagem, uma vez que avaliou-se apenas uma condição de armazenamento e um tipo de embalagem.

Sendo assim, tendo em vista tanto a expansão da cultura da caramboleira nos últimos anos, como a crescente popularidade do fruto nos mercados consumidores interno e externo, e considerando-se a falta de informações científicas a respeito da qualidade fisiológica das sementes, este trabalho foi desenvolvido com os seguintes objetivos: 1. avaliar os efeitos imediato e latente da temperatura do ar de secagem, do teor de água inicial e da embebição na qualidade fisiológica das sementes, em condições controladas de laboratório, por até nove meses de armazenamento; 2. comparar o efeito de dois tipos de embalagem, permeável e impermeável, sob duas condições de estocagem, ambiente a 25 °C e 61% de umidade relativa e B.O.D. a 10 °C e 82% de umidade relativa, na viabilidade das sementes ao longo de três e seis meses de armazenamento; e 3. determinar a qualidade fisiológica das sementes por meio da proporção de germinação, do índice de velocidade de emergência, do tempo médio de germinação, da curva de crescimento e da massa de matéria seca das plantas em ambiente protegido.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Uma das formas de se avaliar o grau de interesse dos mercados produtor e consumidor por determinada espécie de fruta é medir o número de publicações científicas que aparece, ao longo do tempo, a seu respeito na literatura especializada. Esse é um procedimento utilizado por órgãos governamentais de alguns países desenvolvidos com o intuito de disponibilizar uma base de dados consistente para produtores que estejam interessados em iniciar o plantio de frutas que não estejam tradicionalmente estabelecidas no mercado. Na Austrália, pesquisadores da Universidade de Queensland utilizaram esse critério e compilaram o número de publicações, ao longo de 27 anos, a respeito de 4200 espécies de plantas que poderiam ser potencialmente úteis para o país. A pesquisa na base de dados AGRICOLA (1970 a 1996) mostrou que, no período de 1970 a 1979, praticamente não houve publicações a respeito da carambola; de 1980 a 1989, publicou-se um número estável e diminuto (menos de cinco artigos por ano); o número máximo de publicações, 16, ocorreu em 1992, com declínio a partir de então. Entre os assuntos abordados em 117 artigos, não houve uma única menção à qualidade fisiológica das sementes (Fletcher, 2001).

Consulta semelhante feita pelo autor na base de dados norte-americana AGRICOLA (*AGRICultural OnLine Access*) da *National Agricultural Library*, em 21/11/2006, revelou que entre 1966 e 2006 foram publicados 202 artigos a respeito da ou contendo a palavra “carambola” (USDA, 2006a). Os resultados dessa pesquisa estão apresentados na Figura 1. Novamente, não há artigo sobre qualidade fisiológica das sementes no banco de dados consultado.

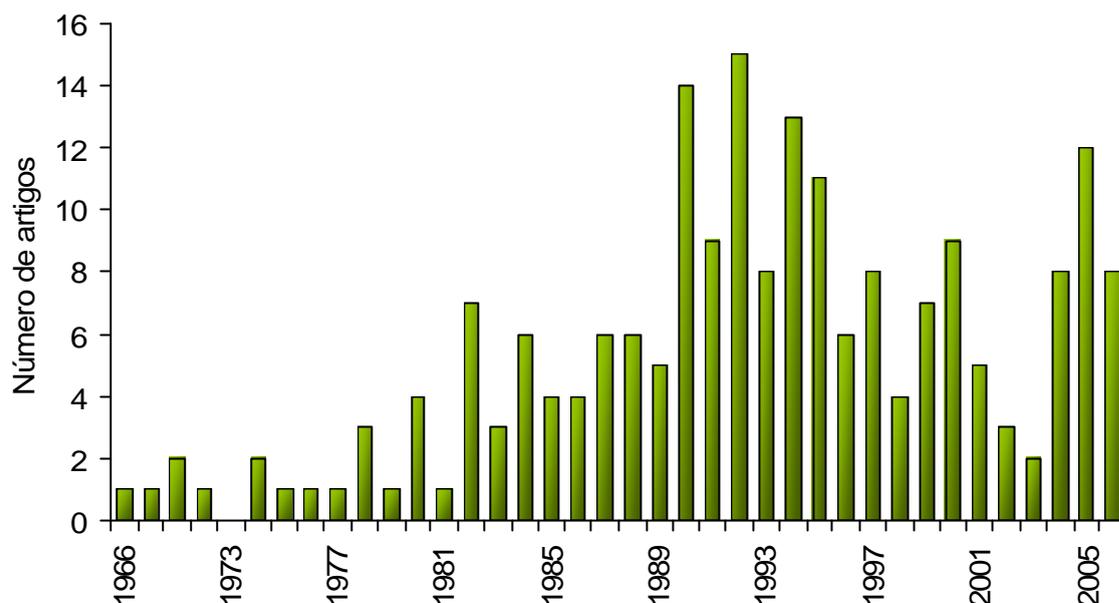


Figura 1. Número de artigos científicos sobre a carambola na base de dados AGRICOLA, entre 1966 e 2006. Fonte: USDA (2006a).

Outro aspecto, mencionado com freqüência a respeito da dificuldade de expansão do cultivo e aumento das exportações de frutas tropicais e subtropicais, refere-se aos problemas relacionados à sua conservação pós-colheita e ao transporte, uma vez que esses frutos são geralmente muito mais perecíveis que frutos arbóreos de clima temperado, além das grandes distâncias e jornadas entre países produtores e seus principais mercados compradores. Nesse contexto, a carambola é um fruto mais durável, em termos de vida de prateleira, quando comparado com outros frutos tropicais; no entanto pode ser facilmente danificado, tanto antes, quanto durante e depois da colheita. Os danos devem-se, geralmente, ao formato afilado das bordas das saliências dos frutos, tornando-os susceptíveis a injúrias por atrito. Enquanto esse problema não for adequadamente resolvido, a comercialização da carambola permanecerá restrita aos mercados locais, reduzindo-se assim o apelo para o mercado exportador (O'Hare, 2001; Donadio et al., 2001). Burdon (2001) acredita que exigências cada vez maiores quanto à qualidade dos frutos tropicais por parte dos consumidores poderão vir a ter implicações em toda sua cadeia produtiva, da produção de sementes de qualidade, ou desenvolvimento de técnicas de propagação, ao aprimoramento da tecnologia de conservação pós-colheita dos frutos.

## 2.1 Origem e descrição botânica da caramboleira e caracterização do seu fruto

Um dos primeiros relatos a respeito da caramboleira na literatura ocidental foi publicado por Robert Bruce, em 1785, no *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, também considerado o primeiro periódico científico do mundo. Bruce (1785) descreveu as folhas e flores da planta e relatou experimentos para demonstrar seu tigmotropismo, similar, porém com resposta mais lenta, ao que ocorre na popular dormideira (*Mimosa pudica* L.). Nesses experimentos, demonstrou-se que apesar de os folíolos corresponderem às partes da folha composta que se moviam ostensivamente em função de estímulos de contato, eles formavam estruturas inteiramente passivas, sendo, na realidade, o pecíolo a estrutura responsável pelo movimento, quando puncionado. Segundo Bruce (1785), a descrição genérica, feita pelo botânico sueco Linnæus (1707 – 1778), das plantas do gênero *Averrhoa*, assim como de muitas plantas da região então conhecida como Bengala, localizada entre a Índia e Bangladesh, das quais ele só conheceu as exsicatas, não era suficientemente acurada.

A descrição da caramboleira aparece também na *Flora brasiliensis*, obra produzida entre 1840 e 1906 pelos editores Carl Friedrich Philipp von Martius, August Wilhelm Eichler e Ignatz Urban, com a participação de 65 especialistas de vários países. Contém tratamentos taxonômicos de 22.767 espécies, a maioria de angiospermas brasileiras, reunidos em 15 volumes, divididos em 40 partes. No volume XII, publicado em 01/12/1877, na parte II, fascículo 74, coluna 520, aparece a descrição, em latim, da espécie *Averrhoa carambola* L. (von Martius et al., 1877).

Na classificação taxonômica atual, a caramboleira (*Averrhoa carambola* L.) pertence à divisão Magnoliophyta, classe Magnoliopsida, subclasse Rosidae, ordem Geraniales, família Oxalidaceae (USDA, 2006b). É planta considerada originária do continente asiático. No entanto, por não haver relatos sobre a existência de plantas em estado selvagem, ainda há dúvidas sobre o local preciso de sua origem na Ásia: alguns autores indicam a Malásia e a Indonésia, mais precisamente as Ilhas Molucas, como centros de origem, outros citam a Índia e o Sri Lanka [Galán-Saúco et al. (1993) e Nakasone e Paull (1998), citados por Donadio et al., 2001]. Acredita-se que a caramboleira tenha sido introduzida no

Brasil com a chegada, em 1811, do agrônomo francês Paul Germain, que as trouxe de cultivos na Guiana Francesa para o extinto Jardim da Aclimação em Olinda, em Pernambuco, de onde se espalhou para todo o litoral do país (Granato, 1919, citado por Araújo e Minami, 2001).

É uma árvore de porte pequeno (3 a 5 m) a médio (8 a 9 m), mas pode chegar a 15 m de altura aos 25 anos de idade, que é considerado seu período de vida útil. A planta é perene, de crescimento lento, com tronco encurtado, torcido e áspero, ramos flexíveis, com porte piramidal, quando jovem, e copa densa e arredondada, quando adulta, com 6 a 7 m de diâmetro. As folhas são compostas (com dois a cinco pares de folíolos), geralmente imparipenadas, ou seja, apresentam os folíolos dispostos aos pares e um folíolo terminal, ímpar, completas, ovaladas ou oval-lanceoladas, dispostas alternadamente, pecioladas e pinadas, de coloração roxa-bronzeada, quando jovens, e verde-pálida e escura, quando adultas. As flores, de cor púrpura no centro e esbranquiçadas nas bordas, são formadas na região da inserção das folhas nos ramos (axilas) e nos ramos terminais (Epstein, 2000; Donadio et al., 2001).

O fruto da caramboleira é liso e brilhante e tem o formato de elipsóide prolato, geralmente com cinco saliências longitudinais, raramente quatro ou seis, ainda que alguns trabalhos cite de duas a oito. Assim sendo, os frutos, quando fatiados transversalmente, apresentam geralmente o formato singular de uma estrela. A sua cor no início é verde-clara e, depois, dependendo da variedade, torna-se verde, amarela-clara ou amarela-alaranjada, alguns tipos apresentando coloração esbranquiçada. A polpa é translúcida, succulenta, não fibrosa, com textura variando desde branda a firme. A epiderme, consumida junto com a polpa, é translúcida, delgada, possuindo algumas vezes uma cutícula cerosa (Donadio et al., 2001).

De acordo com Araújo e Minami (2001), as carambolas são classificadas em dois grandes grupos, o tipo ácido e o tipo doce. Os frutos ácidos são utilizados na culinária como guarnição ou em saladas e geralmente passam por algum tipo de processamento antes de ser consumidos. Os frutos do tipo doce, oriundos de seleção relativamente recente, destinam-se ao consumo *in natura*, já que podem ter suas características sensoriais alteradas quando submetidos às altas

temperaturas geralmente empregadas no processamento. Crane (1994) lista 18 cultivares em produção ou avaliação no sul da Flórida. Destas, 14 são de sabor doce, sendo o cultivar *Arkin* o mais importante em termos comerciais. Dos quatro cultivares que produzem frutos de sabor azedo, o *Golden Star* parece ser o mais versátil, pois os frutos tornam-se doces quando estão completamente maduros e as plantas são muito produtivas. No Brasil, os cultivares mais plantados, de acordo com Bastos (2004), são *Arkin* e *B-10*, este último selecionado na Malásia e de sabor azedo. Teixeira et al. (2001) constataram que os melhores frutos, em termos biométricos e físico-químicos (teores de sólidos solúveis totais e de acidez total titulável), são aqueles dos cultivares *Arkin*, *Tean-ma* e *Nota-10*.

As sementes são oblongas e delgadas, com 6 a 13 mm de comprimento, de coloração marrom-clara, envolvidas em arilo gelatinoso (Figura 2). Os lóculos localizam-se nas saliências do fruto e contêm de zero a três sementes, portanto o número de sementes por fruto pode chegar a 15. De acordo com Donadio et al. (2001) perdem rapidamente a viabilidade depois de retiradas dos frutos.



Figura 2. Sementes de carambola com e sem o arilo.

As características biométricas e físico-químicas dos frutos maduros são extremamente variáveis em função do cultivar e das condições ecológicas. Apresenta-se, na Tabela 1, uma compilação dessas características encontradas na literatura. Quanto à qualidade nutricional, pesquisadores do Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação – NEPA – da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP – apresentaram, em setembro de 2006, a primeira versão de uma tabela genuinamente brasileira de composição dos principais alimentos consumidos no país, incluindo a carambola, batizada de TACO (Tabela Brasileira de Composição de Alimentos). Apresentam-se, na Tabela 2, as composições centesimal, de minerais e de vitaminas da carambola (NEPA-UNICAMP, 2006).

Tabela 1. Média ou intervalo de variação das variáveis biométricas e físico-químicas de carambolas obtidas por diferentes autores.

Variável	Fonte			
	1	2	3	4
Nº. de saliências	5 – 7	nd*	nd	5 – 6
Comprimento (mm)	86,4 – 116,6	94,1 – 113,6	77,4	61,0 – 100,0
Maior diâmetro (mm)	47,3 – 65,2	55,8 – 68,2	45,1	nd
Massa (g)	64,9 – 127,1	96,4 – 135,8	56,8	54,0 – 111,0
Comprimento/diâmetro	1,75 – 1,86	nd	1,72	nd
Nº. de sementes	5,8 – 12,9	3,9 – 16,6	nd	2 – 9
SST (°Brix)	4,91 – 6,57	7,88 – 10,25	5,10	5,0 – 9,9
pH	1,57 – 3,32	3,35 – 3,60	3,33	2,3 – 4,9
ATT (%)	0,56 – 1,41	0,37 – 0,63	0,37	nd
SST/ATT	4,02 – 11,81	16,03 – 27,83	nd	nd
Firmeza da polpa (kg)	47,7 – 68,0	48,6 – 63,7	nd	nd
Luminosidade (L)	46,4 – 50,9	43,8 – 52,4	nd	nd
Croma (C)	20,6 – 28,9	17,5 – 25,9	nd	nd
Tonalidade (°h)	107,1 – 113,3	100,0 – 115,0	nd	nd

Fontes: 1. Araújo e Minami (2001); 2. Teixeira et al. (2001); 3. Oliveira et al. (1989a; 1989b); 4. Wagner et al. (1975).

\* nd = informação não disponível.

Tabela 2. Composição da carambola crua por 100 g de parte comestível: centesimal, minerais e vitaminas.

Composição	Valor por 100 g	Composição	Valor por 100 g
Centesimal:		Fósforo (mg)	
Água (g)	87,1	Ferro (mg)	11,0
Energia (kcal)	46,0	Sódio (mg)	0,2
Energia (KJ)	191,0	Potássio (mg)	4,0
Proteína (g)	0,9	Cobre (mg)	133,0
Lipídeos (g)	0,2	Zinco (mg)	0,08
Carboidrato (g)	11,5	Vitaminas:	0,2
Fibra alimentar (g)	2,0	Tiamina ou vitamina B <sub>1</sub> (mg)	0,12
Cinzas (g)	0,4	Riboflavina ou vitamina B <sub>2</sub> (mg)	traço
Minerais:		Piridoxina ou vitamina B <sub>6</sub> (mg)	traço
Cálcio (mg)	5,0	Niacina ou vitamina B <sub>3</sub> (mg)	traço
Magnésio (mg)	7,0	Vitamina C (mg)	60,9
Manganês (mg)	0,13		

Fonte: NEPA-UNICAMP (2006)

Os valores apresentados na Tabela 2 estão em desacordo com aqueles citados por Oliveira et al. (1989b), provavelmente devido à variabilidade natural encontrada na composição das frutas de uma mesma espécie e também ao avanço verificado nos métodos analíticos nas últimas décadas. Oliveira et al. (1989b) obtiveram conteúdo em proteínas (em 100 g fruto) de 0,43 g, lipídios (0,16 g), fibra (0,56 g) e vitamina C (17,6 mg), todos inferiores aos valores apresentados na Tabela 2. No entanto, os teores de cálcio (22,6 mg), fósforo (15,2 mg), ferro (0,44 mg) e riboflavina (45 µg) são todos superiores aos mostrados na Tabela 2. Por outro lado, os valores obtidos por Teixeira et al. (2001) são semelhantes àqueles mostrados na Tabela 2, à exceção dos teores de manganês (0,16 a 0,61 mg 100 g<sup>-1</sup>), ferro (0,57 a 1,35 mg 100 g<sup>-1</sup>) e cobre (0,15 a 0,22 mg 100 g<sup>-1</sup>). Esses autores determinaram também o teor de enxofre (3,04 – 6,58 mg 100 g<sup>-1</sup>).

De acordo com Queiroz (2004), o FDA (*Food and Drug Administration*), órgão regulador de alimentos e fármacos nos EUA, definiu como “ótimas fontes” de nutrientes os alimentos sólidos que conseguem suprir, na porção alimentar, no mínimo 20% da ingestão diária recomendada (IDR) para estes mesmos nutrientes e, como “boas fontes”, aqueles que suprem de 10 a 20% dos valores de IDR. Os valores de IDR para cada nutriente variam em função da idade e sexo do consumidor, sendo que para mulheres há recomendações específicas para as fases de gestante e lactante. Sendo assim, de acordo com recomendações do *The Institute of Medicine* (IOM, 2006), da organização *The National Academies* dos EUA, para homens de 19 a 50 anos, os valores recomendados de ingestão diária são os seguintes: proteína (56 g), carboidrato (130 g), cálcio (1000 mg), magnésio (400 – 420 mg), fósforo (700 mg), ferro (8 mg), potássio (4,7 g), cobre (0,9 mg), zinco (11 mg), tiamina (1,2 mg), riboflavina (1,3 mg), vitamina B<sub>6</sub> (1,3 mg), niacina (16 mg) e vitamina C (90 mg). Conseqüentemente, pelos critérios mencionados acima, a carambola (ingestão de um fruto de 100 g por dia) só pode ser considerada ótima fonte de vitamina C (68% da IDR) e boa fonte de vitamina B<sub>1</sub> (10% da IDR).

Wagner et al. (1975) relataram valores de ácido oxálico no intervalo entre 0,039 a 0,679 meq 100 g<sup>-1</sup>, em vários cultivares da fruta. Araújo e Minami (2001) obtiveram valor médio de acidez total titulável (% de ácido oxálico) de 1,06%,

sendo os valores mínimo e máximo de 0,56 e 1,41%, respectivamente. O'Hare (2001) compilou valores de 1,0 a 5,8 mg g<sup>-1</sup> de ácido oxálico para carambolas dos cultivares *Arkin* e *Golden Star*, respectivamente.

Um fato pouco conhecido em relação ao consumo da carambola diz respeito a sua neurotoxicidade em pacientes renais crônicos. O primeiro relato foi feito por Martin et al. (1993) que descreveram um surto de soluços incoercíveis em pacientes submetidos a tratamento de hemodiálise. De acordo com Neto et al. (2005), observado em todos os relatos, o soluço não responde aos tratamentos convencionais e iniciam-se em tempo variável depois da ingestão da fruta, de ½ a 10 h, em média de 2 a 3 h. A quantidade de fruta ingerida que provoca os sintomas pode variar desde pequenos pedaços até ingestão maior em um determinado tempo equivalente a 500 mL de suco. Em seguida ao aparecimento dos soluços, grande parte dos pacientes apresenta vômitos. Outros sintomas comuns são distúrbios da consciência, agitação psicomotora, insônia e convulsões. Uma parte dos pacientes apresenta nível de intoxicação leve que pode persistir por vários dias. Entretanto, alguns casos podem evoluir com confusão mental e progressivamente para o coma, *status epilepticus* e choque. Na literatura, até o presente momento, foram descritos 19 óbitos no relato de 81 pacientes. A maioria dos óbitos acontece após quadro do agravamento do coma, com persistência das convulsões. Os casos graves podem ser difíceis de diagnosticar, pois os pacientes são internados com quadros clínicos que lembram acidente vascular cerebral ou distúrbios metabólicos provocados pela uremia. Na história pregressa, o sintoma mais facilmente resgatável e que se associa com o quadro é o soluço (Neto et al., 2005).

O quadro clínico apresentado por pacientes intoxicados pela ingestão de carambola ou de seus derivados evidencia acentuada alteração no funcionamento do sistema nervoso central, revelando a existência de composto neurotóxico no fruto. De acordo com Neto et al. (2005), a purificação da neurotoxina foi realizada por meio de separações cromatográficas clássicas, que resultaram no isolamento completo desse composto. Recentemente, postulou-se que a intoxicação por carambola pudesse ser decorrente das ações do ácido oxálico, presente em grandes quantidades nesse fruto [Chen et al. (2001) citados por Tse et al. (2003)]. Entretanto, o ácido oxálico possui características cromatográficas diferentes

daquelas determinadas para a neurotoxina isolada. Além disso, análises em cromatografia líquida de alta pressão acoplada à espectrometria de massa por *electrospray* revelaram que a neurotoxina apresenta massa molecular de 255,1. Por outro lado, a massa molecular do ácido oxálico é 90,06, demonstrando, definitivamente, serem substâncias diferentes (Neto et al., 2005).

## 2.2 Comercialização dos frutos

Apresenta-se, na Figura 3, a quantidade de carambolas comercializadas na Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo – CEAGESP – no período de 1996 a 2005. Verifica-se que a expansão do plantio da caramboleira é confirmado pelo aumento no volume comercializado no principal centro atacadista de frutas do país. A comercialização, que foi de cerca de 356 t em 1996, aumentou para 3.308 t em 2005, o que representa aumento de 830% em 10 anos. Apesar desse aumento expressivo, a quantidade comercializada ainda é inexpressiva quando comparada com as demais frutas tropicais ou sub-tropicais, mostrando que há potencial para crescimento. Por exemplo, o Brasil produziu cerca de 1.600.000 t de mamão em 2004, dos quais 28.500 t foram destinados à exportação. Quanto ao maracujá, a produção brasileira em 2003 foi de 485.000 t. (AGRIANUAL, 2005; CEAGESP, 2006). De acordo com dados da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), a produção brasileira conjunta de goiaba, manga e mangostão, em 2004, foi de 950.000 t (FAO, 2006).

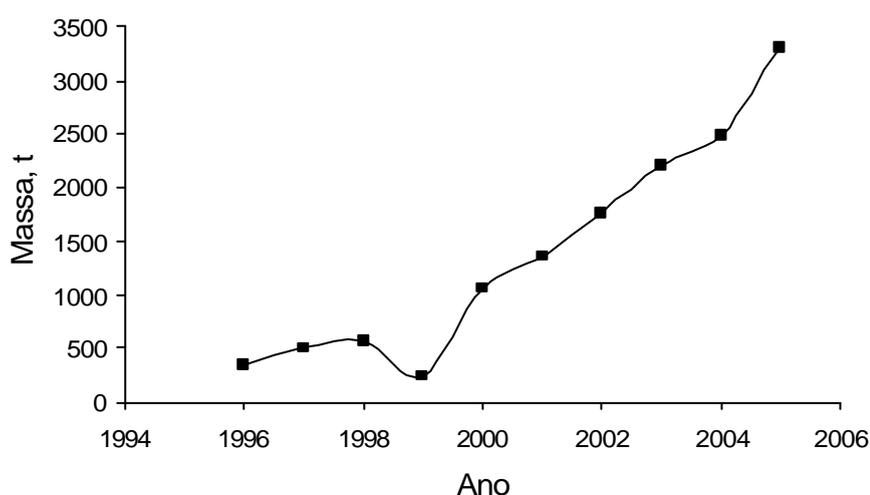


Figura 3. Quantidade comercializada de carambola na Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo entre 1996 e 2005. Fonte: CEAGESP (2006).

### 2.3 Qualidade fisiológica das sementes

Os poucos trabalhos sobre multiplicação da caramboleira alegam que a propagação por enxertia seria o método mais indicado para a espécie, porque reduziria o tempo para o início de frutificação e todas as plantas seriam semelhantes. Afirma-se, também, que as sementes poderiam ser usadas para a produção de mudas, mas, nesse caso, não haveria garantia de uniformidade das plantas e dos frutos, pois ocorre segregação genética. Além disso, como geralmente menciona-se que a viabilidade das sementes é baixa, a reprodução deveria ser usada preferencialmente para a produção de porta-enxertos [Nakasone e Paull (1998) citados por Bastos et al. (2004)].

De fato, Donadio et al. (2001) afirmam que a enxertia é o método mais usado comercialmente, mas também apresenta um longo tempo para que as mudas possam ir para seu local definitivo, além de problemas de incompatibilidade, maior mão-de-obra e alto custo.

Há também trabalhos incipientes sobre métodos de propagação por estaquia. No entanto, a utilização de ácido indolbutírico (AIB) no enraizamento de estacas de caramboleira, sob condições de nebulização intermitente, não mostrou efeito significativo. As estacas herbáceas apicais com 1 par de folhas demonstraram melhor enraizamento, sem considerar o uso do AIB; porém, não atingiram 40% de sobrevivência (Bastos et al., 2004).

Como não existem normas específicas para o teste de germinação de sementes de *Averrhoa carambola* L., Ellis et al. (1985) aconselham a adoção das recomendações propostas pelo *Royal Botanic Gardens, Kew*, do Reino Unido, para espécies cujas sementes tenham comportamento fisiológico desconhecido. Nesse caso, como primeiro passo, recomenda-se que as sementes sejam avaliadas sob temperatura constante de 16 °C, com iluminação de 12 h a cada ciclo de 24 h. Caso esse procedimento não surta o efeito desejado, deve-se realizar o teste empregando-se areia como substrato, em ambiente com temperatura de 25 a 30 °C, com aplicação contínua de luz por 36 dias.

Sekiya e Cunha (1999) secaram sementes de carambola ao sol e à sombra, com e sem arilo, e avaliaram o efeito latente dos tratamentos, acondicionando-as em sacos de papel e armazenando-as em câmara seca por até seis meses. As sementes secadas ao sol foram as que apresentaram os maiores percentuais de germinação e índice de velocidade de emergência. Nesse trabalho não há especificação acerca dos teores de água inicial e final das sementes, nem informações sobre as condições (temperatura e umidade relativa ambiente e velocidade do vento) em que foram realizados os testes de secagem. O tempo médio entre a sementeira e a emergência das plântulas foi de 50 dias. Quanto ao efeito latente, medido pelo comportamento durante o armazenamento, observou-se que, no 1º mês, a germinação caiu 50%, permaneceu constante até o 5º mês e continuou caindo mais lentamente a partir daí.

Almeida et al. (2002) recomendam a embebição das sementes em água, por quatro horas antes da sementeira, pois isso provocaria um aumento significativo na germinação. Mencionam, também, que o período de armazenamento de até 18 dias não influenciou significativamente na germinação; observaram, no entanto, que o armazenamento sob temperatura de cerca de 10 °C provocou queda acentuada no poder germinativo.

De acordo com Marcos Filho (2005), o termo “vigor” não surgiu para identificar um processo fisiológico definido da semente, mas para identificar manifestações de seu comportamento em campo ou durante o armazenamento. Trata-se, portanto, de uma característica abstrata e cuja definição não é tão precisa quanto o conceito de germinação. A rigor, o objetivo fundamental da pesquisa sobre o potencial fisiológico (germinação e vigor) das sementes é esclarecer a sua real influência sobre a emergência das plântulas, em campo, e não, em condições de laboratório. No entanto, como a emergência das plântulas em campo depende diretamente das condições do ambiente e, como estas não são controláveis, o que dificulta a comparação de resultados, foram surgindo, na literatura, descrições de testes de laboratório para avaliação indireta do vigor de sementes.

Piña-Rodrigues et al. (2004) afirmam que os testes mais simples para determinação indireta de vigor são os de *velocidade de desenvolvimento*, cujos

resultados podem ser obtidos pela análise do teste de germinação. Os mais utilizados são o índice de velocidade de germinação (IVG), o tempo médio de germinação ( $t_{\text{médio}}$ ), a primeira contagem do teste de germinação e a análise de plântulas. O princípio destes testes baseia-se no pressuposto de que sementes mais vigorosas germinam mais rapidamente do que outras em condições inferiores. Com isso, mesmo sementes com igual germinabilidade poderiam apresentar velocidades distintas de germinação em função do seu vigor.

Depois da secagem, pode ser necessário esperar determinado período para que se possa levar as sementes para o campo. Para que a qualidade das sementes não seja perdida, é importante conhecer as características das embalagens e as condições de armazenamento. O tipo de embalagem é uma das variáveis com interferência mais significativa no sucesso do armazenamento.

As embalagens podem ser classificadas em permeáveis, semipermeáveis e impermeáveis. As embalagens permeáveis são as que permitem trocas de vapor d'água entre o ar ambiente e o material embalado. Assim, o teor de água do material armazenado varia de acordo com as diferenças entre as pressões de vapor no interior da embalagem e no ar ambiente. Embalagens de papel, algodão e juta são consideradas permeáveis. As embalagens semipermeáveis são as que oferecem certa resistência, sem impedir completamente a passagem do vapor d'água. São consideradas semipermeáveis as embalagens de plástico fino, papel tratado com asfalto, papel aluminizado, entre outras. As embalagens impermeáveis não permitem trocas de vapor d'água entre o ar ambiente e o material embalado. Nesse caso as alterações no teor de água do material embalado são insignificantes. Como exemplo para esse tipo de embalagem pode-se citar sacos ou envelopes de alumínio, latas metálicas herméticas, recipientes de vidro com gaxeta de vedação na tampa e pacotes de alumínio laminado com *mylar* ou polietileno (Popinigis, 1985).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Avaliação da qualidade fisiológica das sementes

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Engenharia Agrícola (LEAG) e na Unidade de Apoio à Pesquisa (UAP) do Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias (CCTA), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), Campos dos Goytacazes, RJ. Foram utilizadas sementes de carambolas (*Averrhoa carambola* L.) oriundas de diversas plantas de pé-franco, de variedade não identificada, do grupo doce, localizadas na Escola Técnica Estadual Agrícola Antônio Sarlo e em pomar comercial situado na localidade de Brejo Grande, Campos dos Goytacazes, e também no Campo Experimental da UENF situado na ilha Barra do Pomba, Itaocara, RJ. Além disso, foram coletadas sementes de frutos colhidos em pomar doméstico e de frutos adquiridos no mercado local.

Devido à dificuldade de obtenção de frutos e sementes em número suficiente para realização da pesquisa em uma única etapa, o trabalho experimental foi dividido em duas partes. Na primeira, avaliou-se a influência de três temperaturas de secagem, dois teores iniciais de água e cinco períodos de armazenamento na qualidade fisiológica das sementes, em condições de laboratório. Na segunda parte, as sementes foram secadas apenas na temperatura que produziu os melhores resultados em termos de germinação e vigor. Foram comparados dois substratos para realização dos testes, papel Germitest (em câmara de germinação) e substrato comercial Plantmax com

adição de solução nutritiva (em ambiente protegido). Foram avaliados dois tipos de embalagem, permeável e impermeável, em dois períodos de armazenamento. Como não existem especificações sobre o tempo de duração do teste de germinação, no primeiro experimento as sementes permaneceram sob avaliação durante 35 dias e, no segundo, por 84 dias.

### **3.2 Primeira etapa experimental**

Os frutos utilizados nessa primeira etapa foram adquiridos no mercado local (lotes 1, 2 e 3) ou colhidos em pomar doméstico (lote 4) e na Escola Técnica Estadual Agrícola Antônio Sarlo (lotes 5 e 6), todos situados em Campos dos Goytacazes, RJ. Na última fase dessa etapa experimental foram empregadas, também, sementes de frutos colhidos no Campo Experimental da UENF situado na ilha Barra do Pomba, município de Itaocara, RJ (lotes 7 e 8); esses frutos encontravam-se extremamente maduros ou em avançado estado de fermentação, sendo parte deles recolhida do solo. A colheita foi feita à tarde e a aquisição no mercado local, pela manhã; em ambos os casos, os frutos foram imediatamente transportados para o LEAG. No caso da colheita, os frutos permaneceram durante a noite sobre bancada no laboratório, à temperatura ambiente, e a retirada das sementes teve início na manhã seguinte.

Para a realização do experimento foram empregados praticamente todos os frutos colhidos e adquiridos, não se tendo procedido à seleção no sentido de homogeneizar os lotes de acordo com atributos de qualidade, como cor, grau de maturação e ausência de injúrias. Antes da retirada das sementes, os frutos foram lavados em água corrente, cortados no sentido longitudinal, paralelamente às saliências, empregando-se faca de aço inoxidável e separando-as em grupos de duas e três. Em seguida, as sementes foram retiradas manualmente e transferidas para uma peneira com malha de aço, onde foram lavadas em água corrente, sendo levemente friccionadas umas às outras e também contra a malha, para a retirada do arilo. Os lotes de sementes foram então divididos em dois grupos: as sementes do primeiro grupo (lotes 1, 2 e 3) foram secadas com papel toalha para retirada da água superficial, sendo posteriormente armazenadas em câmara do tipo B.O.D. a 15 °C, sendo retiradas apenas na manhã seguinte, 2 h

antes do início dos testes de secagem para homogeneização da temperatura. Esse procedimento foi realizado visando a obtenção de sementes com maior teor de água inicial. No segundo grupo (lotes 4, 5 e 6), as sementes foram colocadas sobre papel toalha, permanecendo por 12 h em condição ambiente, para remoção da água superficial e secagem parcial, obtendo-se assim sementes com menor teor de água inicial. Os testes de secagem e avaliação da qualidade fisiológica das sementes dos lotes 7 e 8 foram realizados na última parte dessa etapa experimental e não passaram, também, pelo processo de pré-secagem para redução parcial do seu teor de água inicial. Os testes foram realizados entre 28/01/05 e 11/03/05.

O teor de água inicial das sementes foi determinado antes de se iniciar os testes de secagem, seguindo as recomendações propostas pelas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 1992), a  $130 \pm 1$  °C por 1 h, utilizando-se, no entanto, estufa com circulação forçada de ar. A secagem das sementes foi realizada utilizando-se secador protótipo de camada delgada capaz de fornecer condições controladas de temperatura e vazão do ar de secagem (Figura 4). Esse secador foi fabricado pela Indústria e Comércio de Máquinas Polidryer Ltda., localizada em Viçosa – MG, e possui paredes duplas de chapa de aço galvanizado, preenchidas com material isolante em toda sua extensão a partir da seção de aquecimento do ar. O secador possui um ventilador centrífugo de 1,0 cv, com um diafragma de aberturas reguláveis localizado no duto de entrada, para regulagem do fluxo de ar (Figura 5a); um conjunto de resistências elétricas com potência total de 5 kW, para aquecimento do ar; um inversor de frequência elétrica para alterar e controlar a rotação do motor do ventilador; uma câmara plenum; um conjunto de esferas de vidro para diminuir a turbulência e uniformizar a velocidade do ar antes de sua entrada na câmara de secagem (Figura 5b). A câmara de secagem foi adaptada visando aumentar a área de secagem; o material utilizado nessa adaptação foi chapa de aço galvanizada e material isolante e essa adaptação proporcionou um fluxo de ar tangencial.

Cada um dos oito lotes de sementes foi utilizado para realizar os testes individuais de secagem para cada uma das condições pré-determinadas em termos de teor de água inicial e temperatura de secagem. Desta forma, o lote 1 foi empregado na realização do teste 1 e assim sucessivamente. Em todos os testes,



Figura 4. Secador protótipo de camada delgada utilizado na secagem das sementes de carambola.

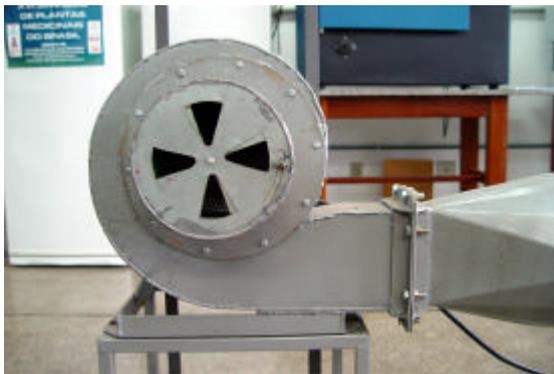


Figura 5. Detalhes do secador protótipo de camada delgada, mostrando a válvula do tipo diafragma para regulação da entrada do ar (a) e o conjunto de esferas de vidro para uniformização do fluxo de ar de secagem (b).

os lotes correspondentes foram divididos em três partes, cada parte ocupando uma das bandejas construídas com chapa de aço perfurado. As sementes foram espalhadas no fundo perfurado da bandeja, formando uma camada fina, de altura correspondente à espessura de uma semente (Figura 6). Essas três bandejas foram dispostas sobre uma das bandejas principais da câmara de secagem.



Figura 6. Sementes de carambola espalhadas em peneira de aço, formando uma camada delgada para secagem por convecção em ar aquecido.

A massa inicial de sementes em cada uma das bandejas foi determinada antes do início da secagem. Sendo assim, em todos os testes de secagem, a redução do teor de água das sementes foi monitorada por gravimetria, pesando-se o conjunto bandeja-amostra em intervalos regulares de 5 min nos primeiros 30 min, de 10 min até os 120 min, de 15 min até 180 min e de 30 min a partir de 180 min, utilizando-se uma balança digital SARTORIUS, modelo BP 4100S, com grau de acurácia de 0,01 g. Como o tempo de pesagem foi de apenas alguns segundos, considerou-se que não houve imposição de distúrbios significativos ao processo de secagem das amostras.

Depois de serem pesadas, as bandejas retornaram ao secador, efetuando-se um rodízio de suas posições, de forma a uniformizar a secagem. Esse procedimento foi necessário, pois testes preliminares mostraram que a taxa de secagem das sementes em cada bandeja apresentava ligeira diferença, provavelmente, devido às diferenças de fluxo de ar e temperatura observados em diferentes posições na câmara de secagem. Os testes foram realizados empregando-se três níveis de temperatura do ar de secagem, 30, 34 e 38 °C e um nível de fluxo de ar seco de secagem,  $1,123 \text{ kg s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ . A secagem foi interrompida quando o teor de água do produto encontrava-se próximo à condição de equilíbrio para as condições em que foram realizados os testes.

A velocidade do ar de secagem foi medida utilizando-se um anemômetro de pás rotativas Airflow® Modelo AV6, posicionado na saída de ar do secador. As

leituras de velocidade e temperatura foram registradas ao final de cada pesagem. A temperatura do ar de secagem foi medida utilizando-se um termômetro de mercúrio, com divisão da escala igual a 1 °C, que foi colocado logo abaixo da câmara de secagem. A temperatura e umidade do ar ambiente foram medidas com aparelho digital Hygrometer® – Series 485 – fabricado pela DWYER INSTRUMENTS, Inc. e registrados continuamente em termohigrógrafo SATO do tipo SIGMA II, modelo NS-Q. Pretendeu-se, com este monitoramento, avaliar as demais propriedades psicrométricas do ar de secagem, como entalpia, razão de mistura e volume específico, utilizando o programa computacional GRAPSI desenvolvido por Melo et al. (2004).

Terminada a secagem, parte da amostra foi utilizada para determinação do teor de água final utilizando-se o método-padrão da estufa e a outra parte foi utilizada para realização dos testes de qualidade fisiológica. O poder germinativo e o vigor das sementes foram avaliados imediatamente depois da secagem, para determinação do efeito imediato da temperatura do ar de secagem sobre a qualidade fisiológica, e em períodos regulares de armazenamento, para verificação do seu efeito latente.

O restante das sementes secas foi subdividido em 5 porções com aproximadamente o mesmo número de sementes, sendo acondicionadas em frascos de polietileno de 35 mL, com tampa rosqueável e vedados com Parafilm®. As sementes acondicionadas foram armazenadas em câmara do tipo B.O.D. à temperatura de  $15 \pm 1$  °C. Estas amostras foram utilizadas para realização dos testes de avaliação da qualidade fisiológica das sementes em função da temperatura de secagem e do período de armazenamento (45, 60, 90, 180 e 270 dias). No presente caso, devido ao escasso número de sementes disponível, não foi determinado o teor de água final ao término dos períodos de armazenamento.

Por não existirem regras ou normas específicas estabelecidas para germinação de sementes de caramboleira, foram feitas adaptações nos procedimentos especificados no teste de germinação proposto pelas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 1992). O teste de germinação foi realizado empregando-se quatro repetições de 50 sementes, em rolo de papel Germitest com quantidade de água equivalente a 2,5 vezes a sua massa e colocadas em

germinador regulado a 20 °C, para o período noturno, e 30 °C, para o período diurno, com fornecimento de luz por 8 h. As avaliações foram realizadas no 14º dia (1ª contagem), nos 21º, 28º e 35º dias (contagem final). Os resultados foram expressos em porcentagem de sementes germinadas. Foram consideradas germinadas todas as sementes que deram início à protrusão da raiz primária.

### 3.2.1 Interpretação dos resultados de germinação e vigor

A interpretação dos resultados obtidos nos testes de avaliação da qualidade fisiológica das sementes foi feita de acordo com a terminologia e as fórmulas descritas em Borghetti e Ferreira (2004). Sendo assim, para estimar a germinação (G), que representa a porcentagem de sementes germinadas em relação ao total de sementes postas para germinar, utilizou-se a seguinte fórmula, em que  $\sum n_i$  representa o número total de sementes germinadas no período estabelecido e N, o número de sementes postas para germinar.

$$G = \frac{\sum n_i}{N} 100 \quad (1)$$

Foi determinado, também, o tempo médio de germinação ( $t_{\text{médio}}$ ) calculado pela seguinte equação, em que  $n_i$  representa o número de sementes germinadas dentro de um intervalo de tempo  $t_{i-1}$  e  $t_i$ .

$$t_{\text{médio}} = \frac{\sum n_i \cdot t_i}{\sum n_i} \quad (2)$$

Outro parâmetro determinado foi o índice de velocidade de germinação (IVG), em que o número de sementes germinadas é contabilizado a cada 7 dias:

$$IVG = \frac{P_1}{D_1} + \frac{P_2}{D_2} + \dots + \frac{P_n}{D_n} \quad (3)$$

Na expressão anterior, P representa o número de sementes germinadas em cada observação, e D representa o número de dias após a sementeira.

### **3.3 Segunda etapa experimental**

Os frutos utilizados nessa segunda etapa do trabalho foram coletados em pomar comercial situado na localidade de Brejo Grande, Campos dos Goytacazes, RJ (lotes 9, 10, 11 e 12). Os frutos foram coletados pela manhã, sendo em seguida transportados para o LEAG para a retirada das sementes. O manuseio dos frutos, e os processos de retirada das sementes, e remoção do arilo foram os mesmos descritos anteriormente. No entanto, para melhor caracterização dos frutos, determinaram-se alguns de seus parâmetros biométricos e físico-químicos, como comprimento, largura, massa, cor, pH e °Brix. Foram feitas quatro coletas entre os dias 15 e 30/03/2006, sendo cada um dos lotes processados separadamente. Cumpre ressaltar que o último lote foi coletado apenas para caracterizar os frutos, não sendo suas sementes utilizadas nos testes para avaliação do potencial fisiológico. Conforme especificado anteriormente, foram coletados frutos em três estádios de maturação (verde, intermediário e maduro), independentemente do formato e tamanho.

#### **3.3.1 Caracterização biométrica dos frutos**

Devido à ausência de normas oficiais para classificação dos frutos de carambola, os critérios para sua caracterização quanto ao tamanho e estágio de maturação foram arbitrados pelo próprio autor. Frutos com comprimento de até 7,0 cm foram considerados pequenos, aqueles entre 7,0 e 8,5 cm foram classificados como de tamanho médio e os que mediram mais de 8,5 cm foram considerados frutos grandes. Quanto ao estágio de maturação, os frutos verdes foram aqueles com coloração da casca totalmente verde; os classificados em estágio intermediário de maturação foram os que apresentavam cor predominantemente amarela, mas que ainda apresentavam cerca de 15% da casca verde; os frutos maduros foram aqueles que apresentavam cor da casca totalmente laranja, como pode ser visto na Figura 7. A mensuração do comprimento e diâmetro equatorial dos frutos foi feita utilizando-se paquímetro; para medição da massa do fruto usou-se balança digital SARTORIUS, modelo BP 4100S, com grau de acurácia de 0,01 g.



Figura 7. Critérios de classificação dos frutos de caramboleira quanto ao tamanho e estágio de maturação.

### 3.3.2 Caracterização da cor externa dos frutos

A determinação dos parâmetros relativos à cor externa foi feita com colorímetro MINOLTA, modelo CR 300, medindo-se em três pontos distintos e aleatórios dos frutos; o resultado fornecido pelo aparelho representa a média dessas três medições. Foram medidos os parâmetros de Hunter,  $L$ ,  $a$  e  $b$ , além do ângulo de cor  $^{\circ}h$  e a intensidade da cor dada pelo parâmetro  $C$  (*Chroma*). Na escala de Hunter, o índice  $L$  mede a luminosidade, que varia de 0 (zero), para amostras totalmente pretas, a 100 para amostras totalmente brancas. O índice  $a$  mede a variação da cor verde (sinal negativo) à vermelha (sinal positivo). O índice  $b$  mede a variação da cor azul (sinal negativo) à amarela (sinal positivo). Valores de  $a$  e  $b$  iguais a zero equivalem à cor cinza (Queiroz, 2006). O ângulo de cor  $^{\circ}h$  é uma medida da tonalidade e é representado por valores entre 0 e 360°, podendo ser calculado pela seguinte fórmula  $^{\circ}h = \text{tg}^{-1} (b/a)$ . Ângulos entre 0 e 90° são representados pelas cores vermelhas, laranjas e amarelas; de 90 a 180° são as

amarelas, as amarelo-verdes e as verdes; de 180 a 270° são as verdes, as verde-azuladas e as azuis; de 270 a 360° são as azuis, as púrpuras, as magentas e novamente as vermelhas. Um valor  $^{\circ}h$  de 360° é igual ao valor 0°. De acordo com McGuire (1992), o parâmetro C (*Chroma*) representa a intensidade ou saturação de cor, e é calculado a partir dos valores de *a* e *b*, empregando-se a seguinte fórmula:  $(a^2 + b^2)^{1/2}$ , ou seja, C representa a hipotenusa de um triângulo retângulo criado pela junção dos pontos (0,0), (*a*,*b*) e (*a*,0). As leituras de todos os parâmetros relativos à cor foram feitas nas frutas *in natura* depois de lavadas e secadas com papel toalha.

### 3.3.3 Caracterização físico-química

**pH:** a polpa dos frutos *in natura* foi primeiramente homogeneizada com microtritador de aço inox, com cabeçote do tipo dentado com hélice, fabricado pela TECNAL, modelo TURRATEC TE 102. Para determinação do pH, cerca de 3 g da amostra fresca triturada foram diluídas em 20 mL de água destilada e o pH da suspensão foi determinado diretamente em pHmetro DIGIMED, modelo DM 20 (Queiroz, 2006).

**Sólidos solúveis totais (SST):** O teor de sólidos solúveis totais, expresso em ° Brix, foi determinado pelo método proposto pela AOAC (1990) para amostras de frutas *in natura*. Uma alíquota da polpa triturada foi colocada sobre o prisma de um refratômetro portátil (ATAGO, modelo HSR 500), procedendo à leitura direta do índice refratométrico indicado pelo aparelho.

### 3.3.4 Manuseio e secagem das sementes

Depois da retirada do arilo, as sementes foram levemente secadas com papel toalha para remoção da água superficial, sendo então transferidas para um frasco de vidro com tampa rosqueável e vedado com Parafilm®. Em seguida, foram armazenadas em câmara do tipo B.O.D. à temperatura de  $10 \pm 1$  °C, de onde foram retiradas apenas cerca de 2 h antes do início dos testes de secagem.

O procedimento para determinação do teor de água das sementes durante essa segunda etapa experimental, assim como o método gravimétrico utilizado para calcular a redução do teor de água durante a secagem foram os mesmos descritos na primeira etapa do trabalho. No entanto, foi utilizado apenas um nível de temperatura do ar de secagem, 38 °C, aquele que proporcionou o melhor resultado observado, em termos de qualidade fisiológica, na primeira etapa do trabalho.

Quanto ao tipo de secagem, na primeira parte do trabalho, adotou-se a secagem contínua, procedimento em que o teor de água foi reduzido do valor inicial ao final sem interrupção do fornecimento de energia às sementes pelo ar de secagem. Nessa segunda etapa, fez-se uso da secagem intermitente, em que houve interrupção da secagem por convecção antes de a semente atingir o teor de água final pré-estabelecido. Esse procedimento foi adotado por dois motivos: em primeiro lugar, as condições do ar ambiente podem não se manter constantes, depois de 8 a 9 h de secagem, para garantir que as sementes sejam submetidas ao mesmo tratamento, em termos de razão da mistura e fluxo de ar seco. Os três testes, no primeiro dia de secagem, tiveram início às 09:30 h, com término entre 17:00 e 18:00 h, dependendo das condições de secagem. A partir desse horário, começa a haver elevação acentuada na umidade relativa do ambiente e, conseqüentemente, da sua razão da mistura, diminuindo seu potencial de secagem.

A segunda razão para que a secagem intermitente tenha sido adotada nesse trabalho deve-se à possibilidade de obtenção de produto de melhor qualidade final devido à introdução de um ou mais períodos de repouso, entre o início e o final do processo de secagem. De acordo com Brooker et al. (1982), quando se interrompe a secagem, existe um gradiente de umidade na semente, estando sua porção central com teor de água mais elevado que sua superfície. A inserção de um período de repouso permite que a umidade seja redistribuída no interior da semente, diminuindo ou mesmo eliminando esse gradiente. Quando isso acontece, há diminuição de algumas das tensões internas geradas na semente pela sua exposição ao ar de secagem ou pela rápida redução do seu teor de água. Ademais, na segunda etapa da secagem, devido à redistribuição de

umidade, há maior facilidade de retirada da água residual até o nível desejado, mantendo assim a integridade e a qualidade da semente.

Assim como feito anteriormente, terminada a secagem, parte da amostra foi utilizada para determinação do teor de água final utilizando-se o método-padrão e a outra parte foi utilizada para realização dos testes de qualidade fisiológica. No entanto, nessa segunda etapa, coletaram-se sementes em quantidade suficiente para determinação do teor de água ao final dos períodos de armazenamento. O poder germinativo e o vigor das sementes (IVG e  $t_{\text{médio}}$ ) foram avaliados logo depois da secagem, para determinação do efeito imediato da temperatura do ar de secagem sobre a germinação, e aos 90 e 180 dias de armazenamento, para verificação do seu efeito latente. O teste para avaliar o efeito imediato foi realizado em laboratório, empregando-se germinador do tipo câmara, regulado a 20 °C, para o período noturno, e 30 °C, para o período diurno, com fornecimento de luz por 8 h, de acordo com os mesmos procedimentos adotados na primeira parte experimental.

O teste de germinação foi realizado, também, sob ambiente protegido em tubete de 115 cm<sup>3</sup>, utilizando-se substrato comercial Plantmax e irrigando-se com mangueira duas vezes ao dia. Adicionalmente, foram feitas três aplicações de solução nutritiva padrão (Tabela 3), com diluição 1:5 e pH de 5,5, durante a realização do experimento.

Tabela 3. Composição da solução nutritiva padrão aspergida em três ocasiões no substrato utilizado no teste de germinação das sementes de carambola em ambiente protegido.

Macronutrientes	mL.L <sup>-1</sup>	Micronutrientes <sup>2/</sup>	mg.L <sup>-1</sup>
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4 H <sub>2</sub> O (2 mol.L <sup>-1</sup> )	1,50	ZnSO <sub>4</sub> 7 H <sub>2</sub> O	578
KNO <sub>3</sub> (2 mol.L <sup>-1</sup> )	2,00	CuSO <sub>4</sub> 5 H <sub>2</sub> O	250
MAP (1 mol.L <sup>-1</sup> )	0,25	MnSO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O	845
MgSO <sub>4</sub> (1 mol.L <sup>-1</sup> )	1,00	KCL	3728
Fe EDTA (25g.L <sup>-1</sup> )	1,00	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> 4 H <sub>2</sub> O	88
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (25 mM)	1,00		
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1 mol.L <sup>-1</sup> )	0,25		
Micronutrientes <sup>1/</sup>	1,00		

A solução principal contém 1,0 mL.L<sup>-1</sup> de micronutrientes<sup>1/</sup>, concentração preparada de acordo com micronutrientes<sup>2/</sup>.

No teste realizado em ambiente protegido foi determinado o Índice de Velocidade de Emergência (IVE), empregando-se a Equação (3), contando, a cada dia, por cerca de três meses, as plântulas que emergiram. Foram consideradas emergidas as sementes que mostraram parte do hipocótilo acima da superfície do substrato. A partir da abertura dos cotilédones, as plantas foram medidas a cada 5 dias, por 110 dias, visando obter a curva de crescimento. O comprimento foi medido usando régua comum. Depois da obtenção destas medidas, as plantas foram retiradas dos tubetes, sendo posteriormente lavadas e secadas levemente com papel toalha. Separou-se a raiz da parte aérea, cortando a planta, com uma tesoura, na região do coleto.

A parte aérea, depois de separada da raiz, foi seccionada e acondicionada individualmente em cadinhos de alumínio com massa previamente determinada e pesados usando balança SARTORIUS, modelo BL 210S (0,001 g) para determinar a massa da matéria úmida. As amostras foram transferidas para estufa com circulação forçada de ar, a  $103\pm 1$  °C por 24 h, para a determinação da massa de matéria seca, de acordo com as especificações da Norma S358.2 proposta pela ASAE (2000).

Não foi possível fazer estimativas de vigor por meio do comprimento e da massa de matéria seca da raiz, pois o uso de tubetes no experimento resultou na poda natural da raiz das plantas, a partir de oito dias depois da abertura do cotilédone.

O restante das sementes secas foi subdividido em 12 porções com aproximadamente o mesmo número de sementes, sendo seis porções acondicionadas em embalagem permeável, do tipo papel Kraft, de 20 x 10 cm; as demais foram acondicionadas em embalagem flexível impermeável multifoliada (Bafema S/A Indústria e Comércio) com a seguinte especificação: filme de poliéster de 12  $\mu\text{m}$  (PET) + tinta branca + adesivo + alumínio 8  $\mu\text{m}$  + adesivo + filme de polietileno transparente de 15  $\text{g m}^2$  (PEBD). A taxa de permeabilidade ao oxigênio desta embalagem, nas CNTP, é de  $0,32 \text{ cm}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ; a taxa de permeabilidade ao vapor d'água, a 38 °C e 90% de umidade relativa, é de  $0,036 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . Depois do acondicionamento das sementes, as embalagens impermeáveis foram seladas a vácuo em seladora TEC MAQ, modelo AP-500.

As sementes acondicionadas nestas embalagens foram armazenadas em dois tipos de ambiente: câmara do tipo B.O.D. a  $10 \pm 1$  °C e sobre bancada em condições de laboratório. Tanto a temperatura quanto a umidade relativa nesses dois ambientes foram medidas durante todo o período de armazenamento, em intervalos de 1 h, utilizando-se termohigrômetro com sistema automático de aquisição de dados modelo 200, fabricado pela SPECTRUM TECHNOLOGIES, Inc., Illinois, USA.

### **3.4 Análise estatística dos dados**

A análise estatística dos dados foi feita empregando-se o método de Amostragem Simples ao Acaso (Cochran, 1977). As proporções de germinação e vigor foram analisadas e comparadas por meio de intervalos de confiança, para o nível de significância de 5%. As amostras foram dimensionadas considerando  $\alpha = 5\%$  e  $d = 5\%$  da média amostral. Nesse sentido, os valores de germinação e vigor de todos os sublotes foram avaliados conjuntamente para cada uma das situações estudadas, ou seja, a qualidade fisiológica das sementes, antes e imediatamente depois da secagem, em todos os períodos de armazenamento.

Nas figuras mostrando os resultados da qualidade fisiológica obtidos pelo método da amostragem, a ocorrência de qualquer nível de superposição das barras horizontais, que representam os intervalos de confiança, revela que não há diferença significativa entre os tratamentos.

O efeito do tempo no crescimento das plantas (cm) e na massa da matéria seca da parte aérea (g) foi analisado utilizando-se o método de regressão linear, a 5% de probabilidade. A identidade de modelo foi obtida com o uso de variável binária, também considerando o nível de significância de 5%.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Primeira etapa experimental

#### 4.1.1 Secagem das sementes de carambola

Apresentam-se, na Tabela 4, os valores médios de temperatura e razão da mistura do ar ambiente, as condições iniciais e finais do produto, os parâmetros de secagem utilizados em seis testes experimentais e seus resultados, para temperaturas médias do ar de secagem de 30, 34 e 38 °C, e velocidade do ar de secagem de  $0,99 \pm 0,07 \text{ m s}^{-1}$ , o que correspondeu à vazão específica de  $59,2 \pm 4,1 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ . Os testes 1, 2 e 3 foram realizados com sementes extraídas de frutos adquiridos no mercado local e comercializados por um mesmo produtor rural. As sementes usadas no teste 4 foram extraídas de frutos coletados em pomar doméstico, ao passo que aquelas empregadas nos testes 5 e 6 são provenientes de frutos colhidos na Escola Técnica Estadual Agrícola Antônio Sarlo (ETEAAS), ambos localizados em Campos dos Goytacazes, RJ. Os frutos empregados em todos os testes não apresentavam homogeneidade quanto ao tamanho, nem quanto ao estágio de maturação.

Tabela 4. Procedência dos frutos, data de realização dos testes de secagem, condições médias do ar e das sementes de carambola durante os testes e tempo de secagem para teores de água iniciais de 43,9±0,6% b.u. (Testes 1, 2 e 3), 42,1±1,5% b.u. (Teste 4), 34,4±0,0% b.u. (Teste 5) e 29,2±0,8% b.u. (Teste 6).

Teste de secagem	1	2	3	4	5	6
<i>Procedência dos frutos</i>	mercado local	mercado local	mercado local	pomar <sup>1/</sup>	ETEAS <sup>2/</sup>	ETEAS <sup>2/</sup>
<i>Data de realização do teste</i>	10/03/2005	09/03/2005	07/03/2005	18/02/2005	04/02/2005	28/01/2005
<i>Condições do ar ambiente:</i>						
Temperatura, °C	30,7±1,0	30,8±0,4	29,7±1,2	30,4±0,5	30,4±0,5	27,9±0,3
Razão da mistura, kg kg <sup>-1</sup>	0,018±0,001	0,018±0,002	0,016±0,001	0,017±0,001	0,015±0,001	0,018±0,000
<i>Condições de secagem:</i>						
Temperatura, °C	30,0±0,9	33,6±0,7	38,4±2,1	33,3±1,1	34,1±1,3	38,0±0,1
Fluxo de ar seco, kg s <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup>	1,096±0,088	1,149±0,045	1,168±0,078	1,161±0,063	1,082±0,040	1,037±0,046
<i>Condições iniciais do produto:</i>						
Temperatura, °C	29,2	30,2	27,7	28,3	29,9	27,4
Teor de água, % b.u.	44,0±0,4	44,4±0,8	43,3±0,3	42,1±1,5	34,4±0,0	29,2±0,8
<i>Condições finais do produto:</i>						
Temperatura, °C	30,0	34,0	35,0	32,8	34,0	38,0
Teor de água, % b.u.	11,5±0,2	9,9±0,2	5,4±0,4	14,4±0,5	10,9±1,0	8,0±0,3
<i>Tempo de secagem:</i>						
Tempo, h	15,0	11,5	5,4	12,5	11,5	6,0

<sup>1/</sup> Pomar doméstico; <sup>2/</sup> Escola Técnica Estadual Agrícola Antônio Sarlo, Campos dos Goytacazes, RJ.

Os testes de 1 a 3 foram realizados em dias próximos, de 07 a 10/03/2005, e, como fica evidenciado nos valores apresentados na Tabela 4, a condição ambiental ficou praticamente inalterada durante as secagens. Os procedimentos utilizados na preparação das sementes também garantiram a uniformidade do teor de água inicial, de cerca de 44% b.u.

O objetivo de se conseguir dois lotes de sementes com graus de umidade sensivelmente diferentes, um elevado e outro reduzido, tanto para avaliação das curvas de secagem quanto para verificar o efeito do teor de água inicial na qualidade fisiológica, não foi alcançado nesta parte do trabalho. Acredita-se que isso tenha ocorrido por dois motivos: as sementes foram extraídas de frutos provenientes de localidades diferentes e as secagens foram realizadas em intervalo de tempo relativamente longo, de 28/01 a 18/02/2005, período no qual houve variação acentuada nas condições ambientais. Como a metodologia para redução do teor de água consistiu na exposição das sementes às condições ambientais por cerca de 12 h, os valores obtidos não foram uniformes, ou seja, 42, 34 e 29% b.u., para as sementes dos lotes 4, 5 e 6, respectivamente. A diferença mais acentuada entre os frutos do lote 4 (pomar doméstico) e aqueles dos lotes 5 e 6 (Escola Agrícola) foi o número de sementes por fruto, consideravelmente menor naqueles do lote 4, em que houve também alta incidência de frutos sem sementes.

Sendo assim, apresenta-se, na Figura 8, a variação do teor de água em função do tempo de secagem, para sementes de carambola com teor de água inicial médio de  $43,9 \pm 0,6\%$  b.u., submetidas à secagem por convecção a 30, 34 e 38 °C e fluxo de ar seco de  $1,136 \pm 0,079 \text{ kg s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ . Verifica-se que, a 30 °C, o tempo requerido para reduzir o teor de água das sementes de carambola de  $44,0 \pm 0,4\%$  b.u. para  $11,5 \pm 0,2\%$  b.u. foi de 15 h. Aumentando-se a temperatura do ar de secagem para 34 °C, observa-se uma redução de cerca de 33% no tempo de secagem. Quando se aumenta a temperatura de 30 para 38 °C, ocorre uma redução de 63% no tempo de secagem.

Nessa primeira parte do trabalho, além dos testes descritos anteriormente, investigaram-se também as características de secagem e a qualidade fisiológica de sementes de carambola colhidas de frutos extremamente maduros ou em

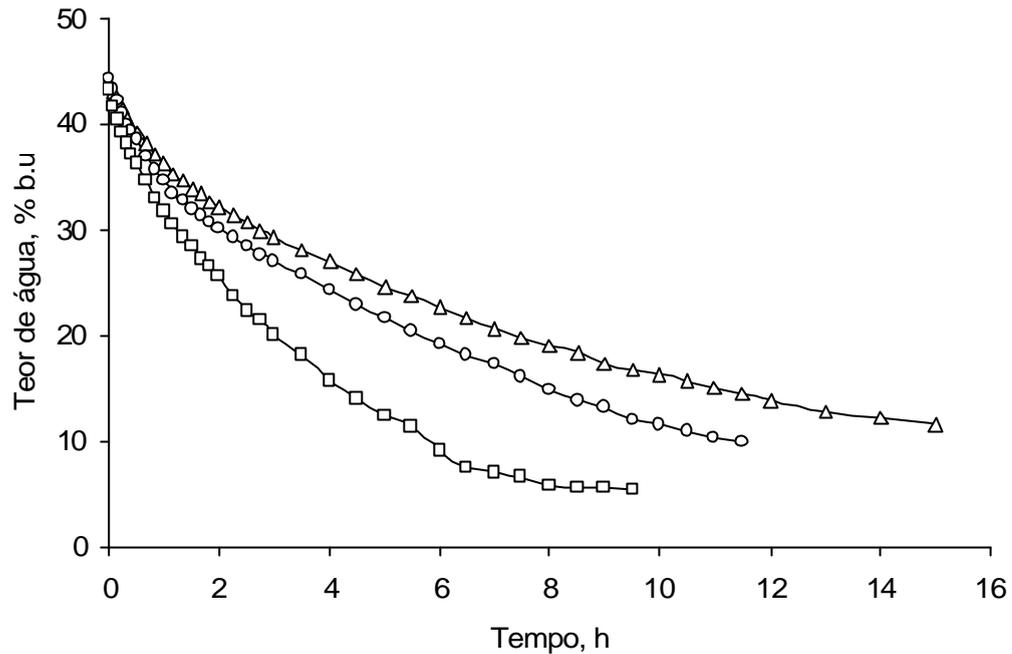


Figura 8. Variação do teor de água em função do tempo de secagem de sementes de carambola para fluxo de ar seco de  $1,136 \pm 0,079 \text{ kg s}^{-1} \text{ m}^{-2}$  e valores indicados de temperatura.  $\Delta$ , 30 °C (teste 1); O, 34 °C (teste 2) e  $\square$ , 38 °C (teste 3).

avanzado estado de fermentação, geralmente recolhidos do solo, e provenientes do Campo Experimental da UENF, localizado na ilha Barra do Pombo, no município de Itaocara, RJ. Essa escolha baseou-se no fato de se encontrar com frequência na literatura alusão a pouca viabilidade das sementes de carambola; além disso, os produtores geralmente relatam a dificuldade de se obter mudas da fruteira. Nesse último caso, observa-se que as tentativas de reprodução da caramboleira são geralmente feitas a partir de sementes desses frutos que não apresentaram características aceitáveis para fins de comercialização. Na maioria destes frutos recolhidos do solo é possível encontrar larvas de dípteros em atividade. As sementes desses frutos sofrem a ação de metabólitos produzidos durante o processo fermentativo e, geralmente, apresentam fissuras quando comparadas com as sementes de frutos sadios, como mostram as Figuras 9 e 10, respectivamente. Nessa etapa do trabalho foram realizadas secagens empregando-se dois valores de temperatura, 38 e 34 °C, e os testes foram realizados nos dias 05 e 11/03/2005, respectivamente. As sementes empregadas



Figura 9. Sementes de carambola provenientes de frutos fermentados e recolhidos do solo, mostrando fissuras no tegumento. As sementes foram secadas a  $34\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $1,0\text{ m s}^{-1}$  e permaneceram armazenadas por 90 dias, sendo posteriormente imersas por 4 h em água destilada.



Figura 10. Sementes íntegras de carambola imediatamente depois da secagem a  $38\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $1,0\text{ m s}^{-1}$ , provenientes de frutos saudáveis e colhidos da árvore, em diversos estádios de maturação.

na realização do teste de secagem a 34°C (teste 7) apresentaram maior incidência de fissuras no tegumento do que aquelas utilizadas na secagem a 38 °C (teste 8).

Os valores médios de temperatura e razão da mistura do ar ambiente, as condições iniciais e finais do produto, os parâmetros de secagem empregados em dois testes utilizando as sementes retiradas de frutos fermentados e seus resultados, para temperaturas médias do ar de secagem de 34 °C (teste 7) e 38 °C (teste 8) e velocidade do ar de secagem de  $1,01 \pm 0,04 \text{ m s}^{-1}$ , o que corresponde à vazão específica de  $60,8 \pm 2,2 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ , são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5. Data de realização dos testes de secagem, condições médias do ar e das sementes de carambola e tempo de secagem para teores de água iniciais de  $52,9 \pm 0,1\%$  b.u. (teste 7) e  $53,8 \pm 0,8\%$  b.u. (teste 8).

Teste de secagem	7	8
<i>Data de realização</i>	11/03/2005	05/03/2005
<i>Condições do ar ambiente:</i>		
Temperatura, °C	31,7±1,1	28,8±0,5
Razão da mistura, kg kg <sup>-1</sup>	0,019±0,001	0,018±0,001
<i>Condições de secagem:</i>		
Temperatura, °C	34,2±1,1	38,2±1,1
Fluxo de ar seco, kg s <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup>	1,149±0,025	1,141±0,050
<i>Condições iniciais do produto:</i>		
Temperatura, °C	29,9	27,6
Teor de água, % b.u.	52,9±0,1	53,8±0,8
<i>Condições finais do produto:</i>		
Temperatura, °C	34,0	37,0
Teor de água, % b.u.	5,7±0,6	5,3±0,2
<i>Tempo de secagem:</i>		
Tempo, h	9,5	11,5

Os valores apresentados na Tabela 5 permitem verificar que o teor de água inicial das sementes obtidas de frutos fermentados, cerca de 53% b.u., é consideravelmente superior àqueles das sementes retiradas de frutos sadios, em diversos estádios de maturação, que variou entre 29 e 44% b.u. (Tabela 4). O teor de água, em todos os casos, foi determinado empregando-se sementes limpas, das quais havia-se removido a água superficial. Desta forma, acredita-se

que as fissuras presentes nas sementes obtidas de frutos fermentados e recolhidos do solo tenham facilitado a absorção de água, tanto antes quanto durante a lavagem.

As curvas de secagem referentes aos testes 7 e 8 são apresentadas na Figura 11, onde é possível observar que a taxa de secagem das sementes a 34 °C foi superior àquela a 38 °C, comportamento contrário ao esperado. Esse fato pode ser justificado pelo maior número de fissuras no tegumento das sementes observado no lote secado a 34 °C, permitindo assim a saída da água com maior facilidade e reduzindo o tempo de secagem. O efeito da integridade física inicial das sementes, na quantidade de água perdida durante a secagem a 34 °C, também pode ser verificado comparando-se as taxas de secagem observadas nos testes 2 e 7. Na secagem de sementes íntegras (teste 2), a taxa de secagem foi de 4,2 pontos percentuais de teor de água por hora de secagem, ou seja, em 6 h de secagem, o teor de água foi reduzido de 44,4 para 19,3% b.u. O valor correspondente para sementes fissuradas (teste 7) foi de 6,2 pontos percentuais de teor de água por hora de secagem. Nesse caso, em 6 h de secagem, o teor de água foi reduzido de 44,0 para 6,0% b.u.

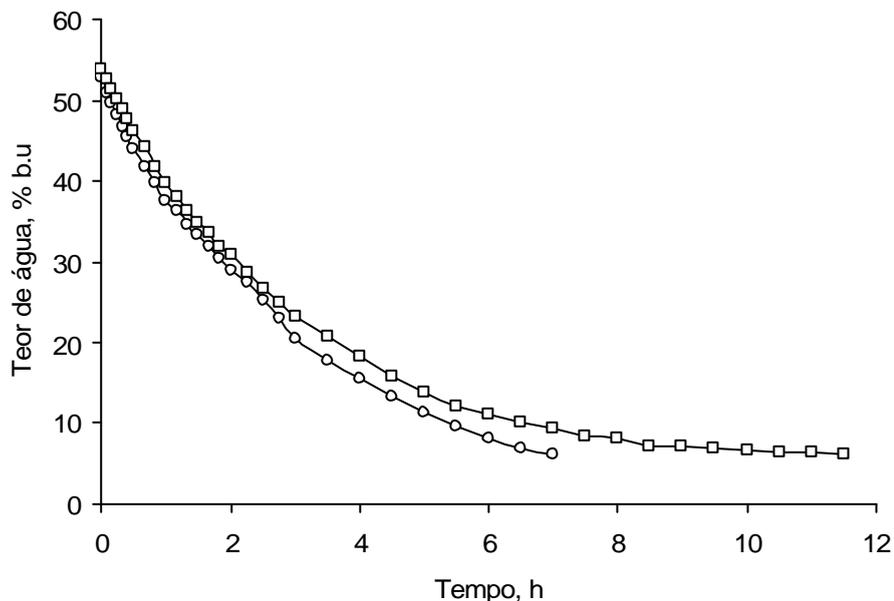


Figura 11. Variação do teor de água em função do tempo de secagem de sementes de carambola para fluxo de ar seco de  $1,145 \pm 0,006 \text{ kg s}^{-1} \text{ m}^{-2}$  e valores indicados de temperatura. O, 34 °C (teste 7) e □, 38 °C (teste 8).

#### 4.1.2 Avaliação da qualidade fisiológica das sementes

Nas Figuras 12, 13 e 14, apresentam-se ilustrações características da protrusão da raiz primária e de plântulas classificadas como normais e anormais, respectivamente, na contagem final do teste de germinação de sementes de carambola.

Os valores dos percentuais de germinação de sementes de carambola (testes 1 a 6), antes e imediatamente depois da secagem, estimados aos 35 dias do teste de germinação são mostrados na Tabela 6. Os resultados referentes aos percentuais de germinação, depois de 45, 60, 90, 180 e 270 dias de armazenamento em B.O.D a 15 °C, são mostrados na Tabela 7.

Os intervalos de confiança correspondentes aos testes de germinação, antes e logo depois da secagem, e calculados a partir do número de sementes germinadas aos 35 dias após o início dos testes de germinação das sementes de carambola, para os testes 1 a 3, são mostrados na Figura 15. Os valores correspondentes para os testes 4 a 6 estão na Figura 16.



Figura 12. Protrusão da raiz primária de semente de carambola aos 35 dias do teste de germinação. Teores de água inicial e final de 29 e 5% b.u., secagem a 38 °C e 60 dias de armazenamento a 15 °C.



Figura 13. Plântula normal de caramboleira aos 35 dias do teste de germinação. Teores de água inicial e final de 29 e 5% b.u., secagem a 38 °C e 60 dias de armazenamento a 15 °C.



Figura 14. Plântula anormal de caramboleira aos 35 dias do teste de germinação. Teores de água inicial e final de 29 e 5% b.u., secagem a 38 °C e 60 dias de armazenamento a 15 °C.

Tabela 6. Porcentagem de germinação de sementes de carambola, antes e imediatamente depois da secagem, para os testes 1 a 6.

Teste	1	2	3	4	5	6
<i>Condições de secagem:</i>						
Temperatura do ar de secagem, °C	30,0	34,0	38,0	33,0	34,0	38,0
Teor de água inicial da semente, % b.u.	44,0	44,0	44,0	42,0	34,0	29,0
Teor de água final da semente, % b.u.	11,5	10,0	5,0	14,0	11,0	8,0
<i>Porcentagem de germinação:</i>						
Antes da secagem, %	68,5	68,5	68,5	51,7	54,5	22,0
Logo depois da secagem, %	72,5	77,0	65,0	30,8	nd*	15,5

\* nd = valor não disponível

Tabela 7. Porcentagem de germinação de sementes de carambola em função do período de armazenamento, para os testes 1 a 6.

Teste de germinação	1	2	3	4	5	6
	Teor de água da semente, % b.u.					
	11,5	10,0	5,0	14,0	11,0	8,0
<i>Período de armazenamento (dias):</i>						
45	62,0	55,0	62,0	23,0	61,0	21,0
60	51,5	54,5	50,0	22,5	39,0	18,5
90	37,5	41,0	50,0	21,0	57,5	22,5
180	59,0	67,0	85,5	31,0	45,5	15,0
270	35,0	50,0	66,5	5,0	27,0	6,0

Tanto os valores apresentados na Tabela 6 quanto os intervalos de confiança mostrados nas Figuras 15 e 16, indicam que o percentual de germinação das sementes sem secar, assim como também o daquelas imediatamente depois da secagem, foram consideravelmente maiores nos testes 1, 2 e 3 do que os valores obtidos com as sementes submetidas às condições dos testes 4, 5 e 6. Além disso, verifica-se, na Figura 15, que os resultados dos testes 1, 2 e 3 são estatisticamente iguais entre si, embora as sementes submetidas ao processo de secagem, à exceção daquelas do teste 3, tenham apresentado percentual de germinação ligeiramente maior que as sementes que não foram secadas. Esse resultado indica que não houve influência significativa da temperatura do ar de secagem nem do teor de água final das sementes sobre sua qualidade fisiológica.

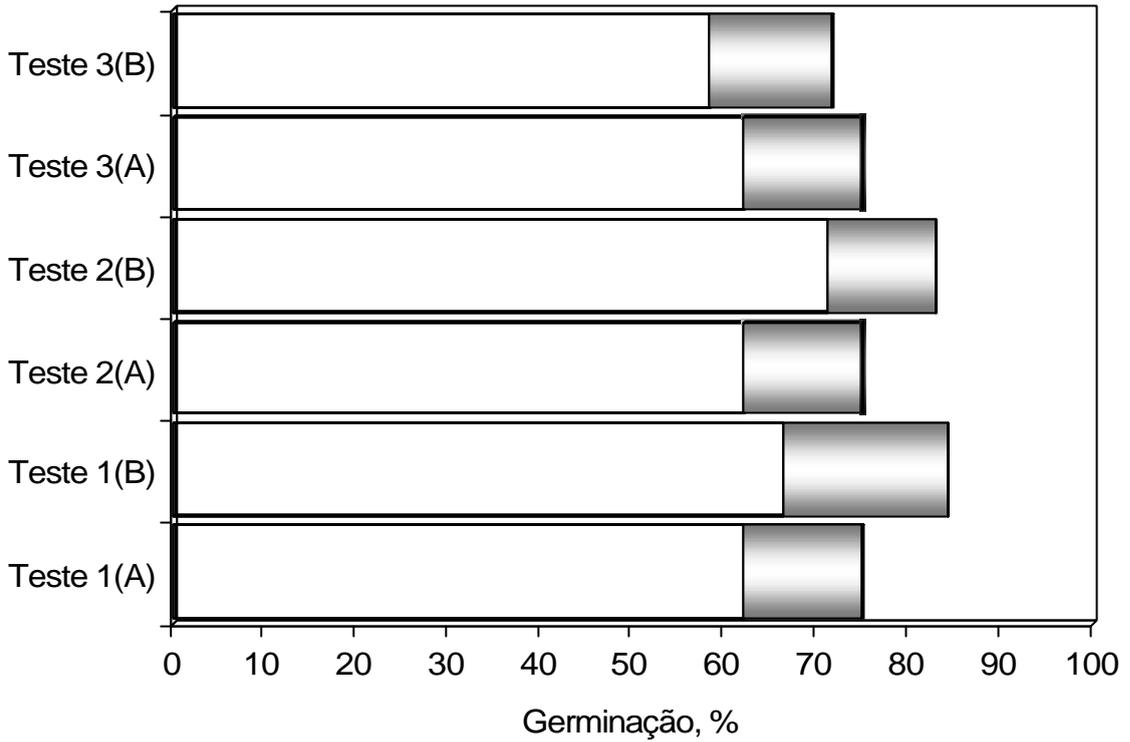


Figura 15. Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para proporção de germinação de sementes de carambola, para as condições dos testes 1, 2 e 3. Sementes sem secar (A); sementes imediatamente depois da secagem (B).

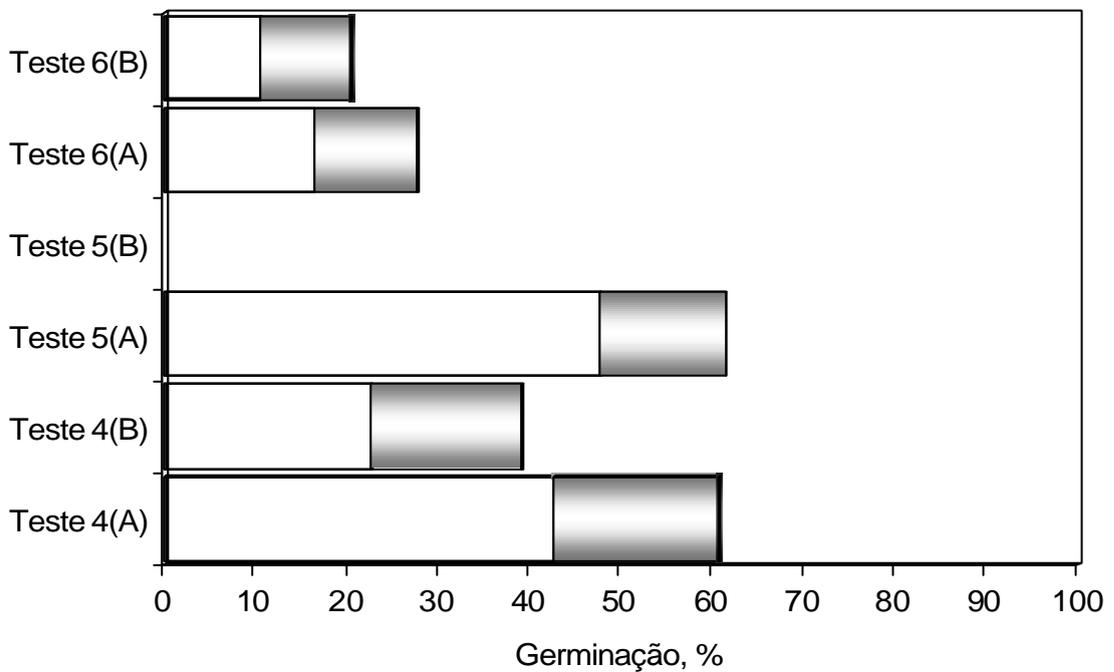


Figura 16. Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para proporção de germinação de sementes de carambola, para as condições dos testes 4, 5 e 6. Sementes sem secar (A); sementes imediatamente depois da secagem (B). Teste 5(B): valor não disponível.

Quanto às sementes submetidas à pré-secagem para redução do teor de água inicial, a secagem adicional teve efeito deletério sobre o percentual de germinação (Figura 16) apenas para temperatura de 33 °C. Nesse caso, os melhores resultados foram aqueles obtidos empregando-se sementes com maior teor de água inicial, 42 e 34% b.u.

Observa-se, também, quando se comparam as Figuras 15 e 16, que a homogeneidade das sementes dos lotes 1, 2 e 3, tanto em termos de procedência, quanto no que se refere às condições uniformes de temperatura e razão da mistura do ar ambiente durante a secagem (Tabela 4), parâmetros com efeito significativo sobre a secagem realizada em baixas temperaturas, parece haver influenciado positivamente a uniformidade dos resultados em termos de qualidade fisiológica das sementes. No entanto, nesse mesmo sentido, apenas a desuniformidade observada entre as sementes utilizadas no teste 4 (pomar doméstico) e aquelas dos testes 5 e 6 (Escola Agrícola) não explicam as diferenças obtidas no teste de germinação e mostradas na Figura 16. Nesse caso, o maior teor de água inicial foi provavelmente o fator preponderante para se obter maior germinação, mais do que o fato de as sementes serem provenientes de frutos com poucas ou nenhuma semente (teste 4).

Os intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para proporção de germinação de sementes de carambola depois de 45, 60, 90, 180 e 270 dias de armazenamento a 15°C, para as condições dos testes 1, 2 e 3, são mostrados na Figura 17. Os valores correspondentes para os testes 4, 5 e 6 são mostrados na Figura 18. Esses percentuais foram calculados considerando-se as avaliações feitas entre a primeira contagem (14º dia) e a contagem final (35º dia) dos testes de germinação. Nessas figuras, para efeito comparativo, incluiu-se também a proporção de germinação obtida imediatamente depois da secagem, período denominado “dia zero”.

Verifica-se, na Figura 17, que o período de armazenamento de zero a 90 dias, para qualquer dos valores de temperatura de secagem, teve efeito negativo sobre o percentual de germinação das sementes de carambola. No entanto, é interessante observar que o percentual de germinação, em todos os testes,

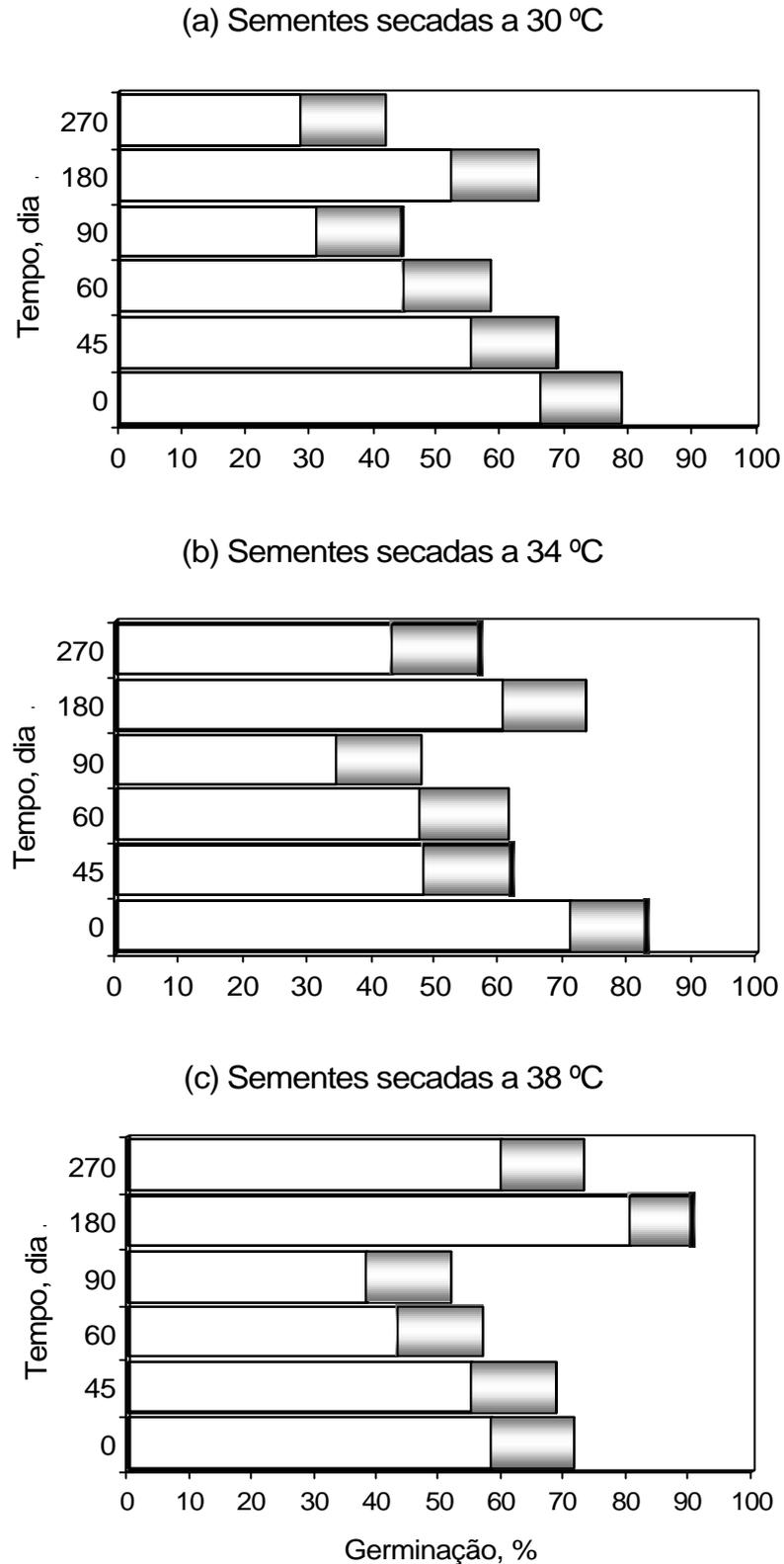


Figura 17. Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para proporção de germinação de sementes de carambola imediatamente depois da secagem (dia zero) e aos 45, 60, 90, 180 e 270 dias de armazenamento. (a) teste 1; (b) teste 2; (c) teste 3.

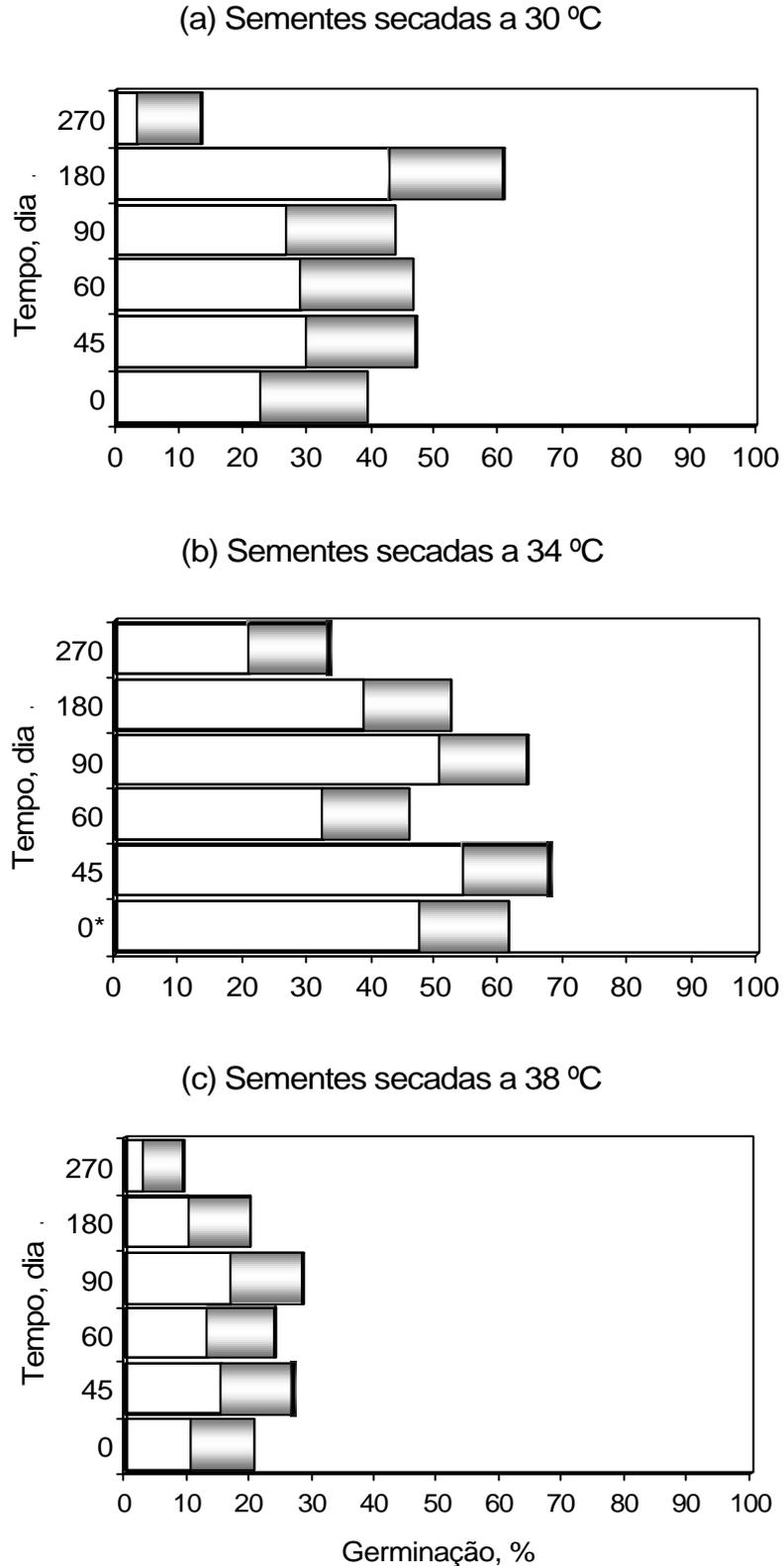


Figura 18. Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para proporção de germinação de sementes de carambola imediatamente depois da secagem (dia zero) e aos 45, 60, 90, 180 e 270 dias de armazenamento. (a) teste 4; (b) teste 5; (c) teste 6. \*antes da secagem.

aumenta significativamente quando o período de armazenamento estende-se de 90 para 180 dias. Portanto, é provável que a secagem tenha induzido algum mecanismo de dormência nas sementes, com sua possível superação em determinado período entre 90 e 180 dias. No entanto, foi apenas no teste 3 que, aos 180 dias de armazenamento, as sementes passaram a apresentar percentual de germinação maior que aqueles observados antes e imediatamente depois da secagem. Entre 180 e 270 dias, o percentual de germinação volta a sofrer redução significativa para todas as condições testadas. Sendo assim, dentre as condições testadas nos testes 1, 2 e 3, as sementes secadas a 38 °C e armazenadas por 180 dias foram as que apresentaram maior proporção de germinação.

Os resultados obtidos com as sementes utilizadas nos testes 4 a 6 indicam comportamento diverso daquele observado nos testes 1 a 3. Em primeiro lugar, não se constatou a diminuição gradativa no percentual de germinação em função do período de armazenamento até os 90 dias, em nenhum dos testes. Ao contrário, ao final desse período, o percentual de germinação permaneceu estatisticamente o mesmo daquele verificado antes ou imediatamente depois da secagem. Além disso, os valores foram consistentemente menores em praticamente todas as situações observadas. Acrescenta-se a isso o fato de haver sido observado incremento na proporção de germinação aos 180 dias de armazenamento apenas para as sementes utilizadas no teste 4, secadas a 30 °C.

As sementes do teste 6, que apresentaram os menores valores para proporção de germinação, antes e imediatamente depois da secagem, foram também as que apresentaram o pior desempenho, em termos de qualidade fisiológica, durante o armazenamento. Ao se comparar as Figuras 17 e 18, verifica-se que a homogeneidade dos lotes empregados nos testes 1, 2 e 3, tanto em termos de procedência das sementes quanto no que se refere às condições similares a que foram submetidas nos tratamentos de pré-secagem, refletiu-se novamente na uniformidade da distribuição da proporção de germinação. Ademais, as sementes utilizadas nos testes 4 e 5, ou seja, com maior teor de água inicial, foram as que proporcionaram os melhores resultados. As sementes empregadas no teste 6, que haviam apresentado o pior resultado inicial (Figura 16), continuaram a apresentar o mais fraco desempenho ao longo de todos os

períodos de armazenamento (Figura 18). O fator que mais diferenciou essas sementes das demais foi a redução do seu teor de água, antes da secagem a 38 °C, para 29% b.u., o menor valor empregado entre os testes.

Com os resultados obtidos, comprova-se exatamente o contrário do que afirmam os escassos relatos encontrados na literatura, ou seja, que as sementes de carambola perderiam a viabilidade pouco tempo depois de serem retiradas dos frutos (Crane, 1994; Donadio et al., 2001). No presente caso, os resultados mostram com clareza que as sementes de carambola podem manter ou aumentar o percentual de germinação mesmo depois de ter seu teor de água reduzido de 44% b.u. para valores entre 5 e 12% b.u., empregando-se temperaturas entre 30 e 38 °C, podendo, inclusive ser armazenadas por 180 dias a 15 °C em embalagem hermética de polietileno. Além do mais, os resultados sugerem que estaria correta a afirmação de Ellis et al. (1985) a respeito do comportamento ortodoxo das sementes de carambola.

Os valores dos percentuais de germinação de sementes de carambola (testes 7 e 8), antes e imediatamente depois da secagem, estimados aos 35 dias do Teste de Germinação são mostrados na Tabela 8.

Tabela 8. Porcentagem de germinação de sementes de carambola, antes e imediatamente depois da secagem, para teores de água iniciais de 53% b.u. (teste 7) e 54% b.u. (teste 8) e temperaturas de secagem de 34 e 38 °C.

Teste	7	8
<i>Condições de secagem:</i>		
Temperatura do ar de secagem, °C	34,0	38,0
Teor de água inicial da semente, % b.u.	53,0	54,0
Teor de água final da semente, % b.u.	6,0	5,0
<i>Porcentagem de germinação:</i>		
Antes da secagem, %	4,0	6,0
Logo depois da secagem, %	2,0	16,0

Os resultados da proporção de germinação e os respectivos intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para os testes 7 e 8, de sementes extraídas de frutos provenientes de Itaocara-RJ, e que se encontravam fermentados ou em processo de deterioração, encontram-se na Figura 19. Os valores apresentados nessa figura representam o resultado da avaliação fisiológica das sementes, antes e logo depois da secagem, e calculados a partir do número de sementes germinadas aos 35 dias após o início dos testes de germinação.

Os resultados mostrados na Tabela 8 e na Figura 19, com proporção de germinação máxima de 16%, evidenciam que houve perda de viabilidade das sementes empregadas nos testes 7 e 8. A perda de viabilidade, como observado anteriormente, deve-se ao fato de essas sementes serem provenientes de frutos fermentados e recolhidos do solo, com expressiva presença de fissuras no tegumento. Essas sementes que permaneceram nos frutos durante seu processo de deterioração, além das fissuras no tegumento, ficaram também mais claras e opacas em comparação com aquelas retiradas de frutos íntegros, indicando que o tegumento foi danificado pelos metabólitos produzidos durante o processo de fermentação dos frutos.

Nos testes 1 a 6, a maioria das sementes que não germinou durante os 35 dias de duração do teste de germinação permaneceu sadia, apresentando todas as estruturas internas intactas. Esse resultado, de acordo com Baskin e Baskin (1998), citados por Cardoso (2004), mostra que nessas sementes houve prevalência de algum mecanismo de dormência. Ao contrário desses resultados, nos testes 7 e 8, praticamente todas as sementes que não germinaram, apresentavam-se deterioradas ao final do teste de germinação (Figura 20). Nesses testes, assim como nos anteriores, foram consideradas germinadas todas as sementes que deram início a protrusão da raiz primária. Nos testes 1 a 6, as sementes germinadas geralmente deram origem a plântulas normais, como mostra a Figura 13. No entanto, nos testes 7 e 8, as sementes germinadas raramente evoluíam para a condição de plântula normal, permanecendo com as raízes primária e secundárias muito curtas, com parte ou totalidade de sua extensão escurecida (Figuras 21 e 22). Sendo assim, a baixa viabilidade das sementes empregadas nesses testes demonstra que seria inapropriada qualquer investigação adicional a respeito de sua qualidade fisiológica ao longo do armazenamento.

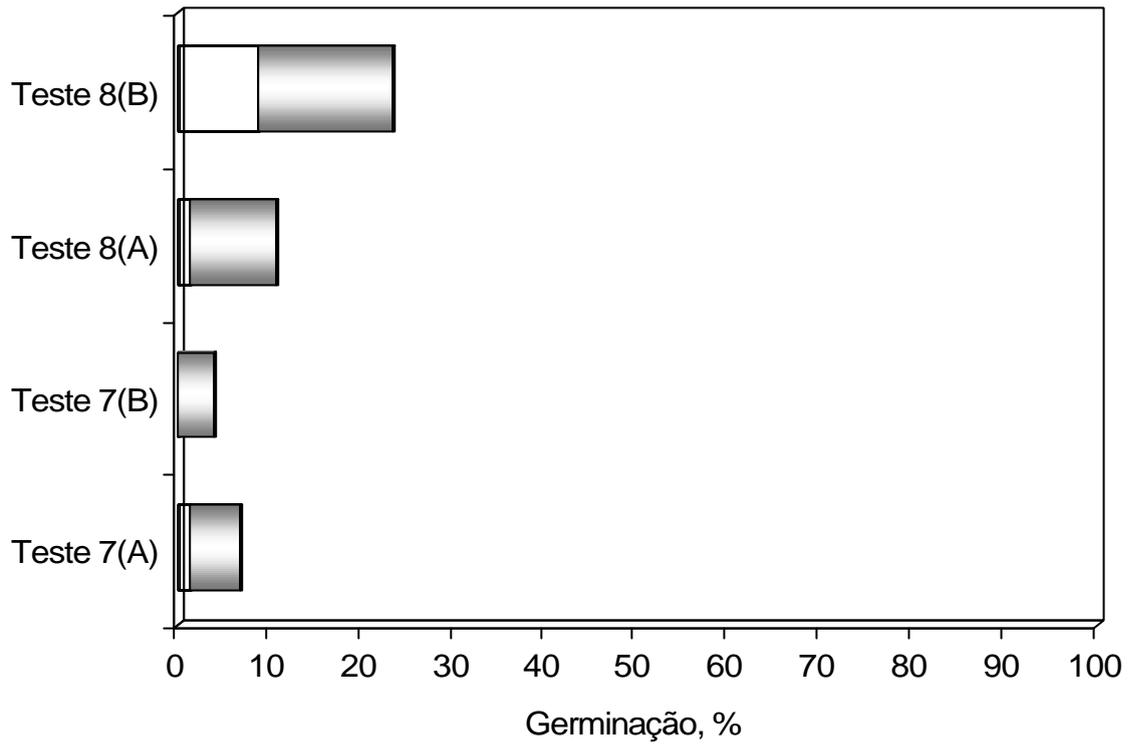


Figura 19. Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para proporção de germinação de sementes de carambola, para as condições dos testes 7 e 8. Sementes sem secar (A); sementes imediatamente depois da secagem (B).



Figura 20. Semente deteriorada de carambola aos 35 dias do teste de germinação. Teores de água inicial e final de 54 e 5% b.u., secagem a 38 °C e 45 dias de armazenamento a 15 °C.



Figura 21. Plântula anormal de carambola aos 35 dias do teste de germinação, mostrando escurecimento das raízes. Teores de água inicial e final de 54 e 5% b.u., secagem a 38 °C e 45 dias de armazenamento a 15 °C.



Figura 22. Plântula anormal de carambola aos 35 dias do teste de germinação, mostrando encurtamento das raízes. Teores de água inicial e final de 54 e 5% b.u., secagem a 38 °C e 45 dias de armazenamento a 15 °C.

Esses resultados explicam o fato de raramente se encontrar mudas espontâneas sob copas de caramboleiras. Portanto, para se obter elevada proporção de germinação em sementes de carambola, essas devem ser extraídas de frutos maduros e íntegros, cujas sementes ainda não tenham sido expostas ao processo fermentativo da polpa.

Ao contrário da recomendação de Almeida et al. (2002), a embebição por imersão das sementes de carambola em água, por 4 h antes da sementeira, não produziu resultados significativos em nenhuma das condições testadas no presente trabalho. A Figura 23 ilustra os valores de proporção de germinação obtidos com sementes secadas a 34 °C (teste 2), para todos os períodos de armazenamento. A hidratação consistiu em imergir as sementes em água destilada por 4 h antes do início do teste de germinação. Observa-se que as médias para as sementes que sofreram embebição são maiores que as daquelas que não o foram, mas em função dos intervalos de confiança obtidos, os resultados foram considerados estatisticamente iguais. Gráficos semelhantes aos da Figura 23 foram obtidos para as sementes empregadas em todos os demais testes.

No presente trabalho, a estimativa do vigor das sementes de carambola foi feita empregando-se o índice de velocidade de germinação (IVG), calculado de acordo com a Equação (3) e o tempo médio de germinação ( $t_{\text{médio}}$ ), calculado empregando-se a Equação (2). Apresenta-se, nas Figuras 24 e 25, os valores médios e os respectivos intervalos de confiança do IVG de sementes de carambola antes e imediatamente depois da secagem para as condições dos testes 1 a 3 e 4 a 6. Os valores correspondentes para o  $t_{\text{médio}}$  encontram-se nas Figuras 26 e 27, respectivamente. Verifica-se, na Figura 24, que as plântulas obtidas de sementes provenientes dos testes 1 a 3, apresentaram os maiores valores de IVG e não tiveram diferença significativa entre elas. Na Figura 26, observa-se que os menores valores de  $t_{\text{médio}}$ , ou seja, as plântulas mais vigorosas, também ocorreram nos testes de 1 a 3, que também não apresentaram diferença significativa. Embora os testes 5(A) e 6(B) houvessem apresentado  $t_{\text{médio}}$  menor, a qualidade fisiológica foi comprometida pela baixa porcentagem de germinação.

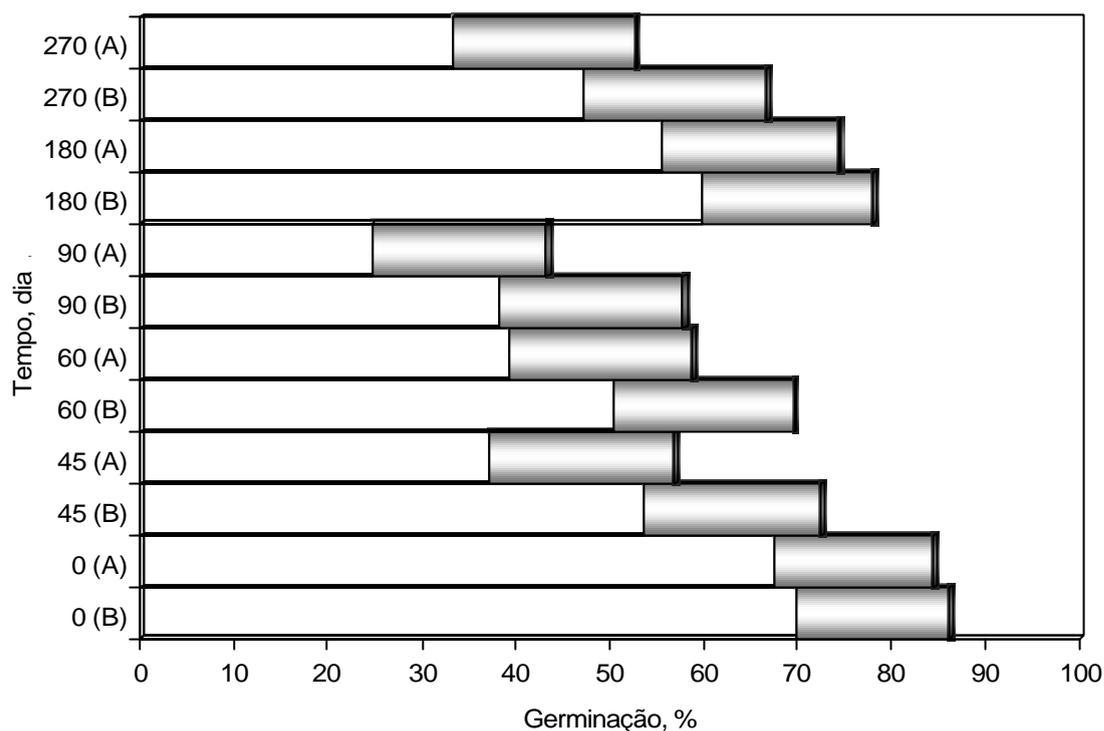


Figura 23. Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para proporção de germinação de sementes de carambola (teste 2), imediatamente depois da secagem (dia zero) e aos 45, 60, 90, 180 e 270 dias de armazenamento. Sementes sem embebição (A); sementes submetidas a embebição (B).

Apresenta-se, nas Figuras 28 e 29, os valores médios do IVG das sementes de carambola, ao final dos períodos de estocagem, para as condições de secagem empregadas nos testes 1 a 3 e 4 a 6, respectivamente. Observa-se, na Figura 28, que valores de IVG superiores àquele verificado depois da retirada das sementes dos frutos foram observados apenas para sementes secadas a 38 °C e armazenadas por 180 e 270 dias. Na avaliação da viabilidade das sementes de carambola, verificou-se que a maior proporção de germinação, 85,5%, havia ocorrido para sementes secadas a 38 °C e armazenadas por 180 dias (Tabela 7 e Figura 17). Na estimativa do vigor pelo IVG, o melhor desempenho também ocorreu a 38 °C, indicando ser essa a temperatura de secagem que resulta no maior potencial fisiológico das sementes de carambola, para as condições estudadas, e considerando-se apenas esses dois parâmetros na avaliação.

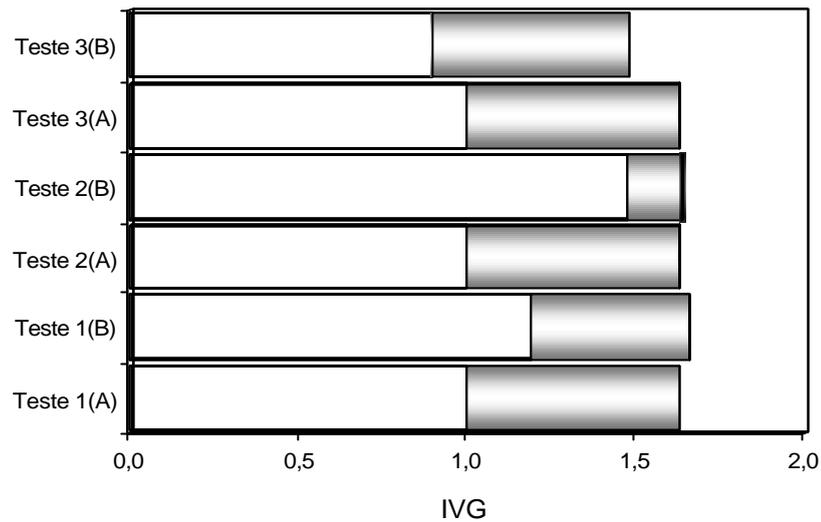


Figura 24. Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para valores médios do IVG de sementes de carambola, para as condições dos testes 1, 2 e 3. Sementes sem secar (A); sementes imediatamente depois da secagem (B).

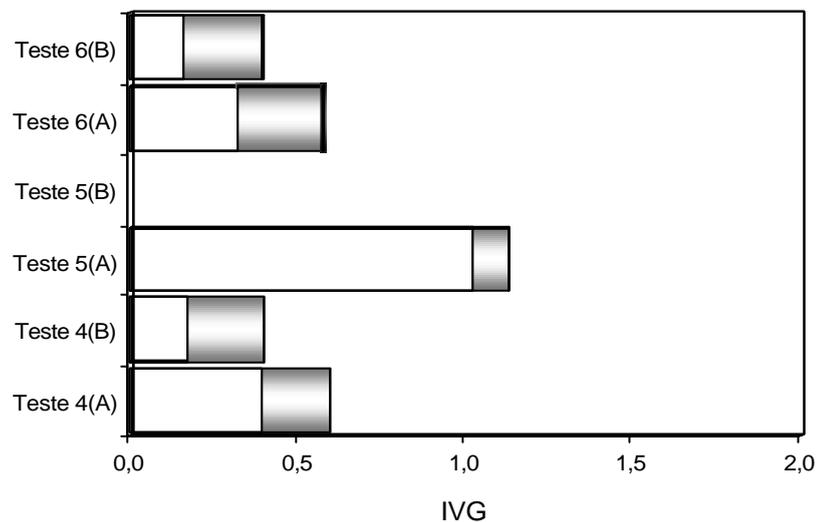


Figura 25. Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para valores médios do IVG de sementes de carambola, para as condições dos testes 4, 5 e 6. Sementes sem secar (A); sementes imediatamente depois da secagem (B).

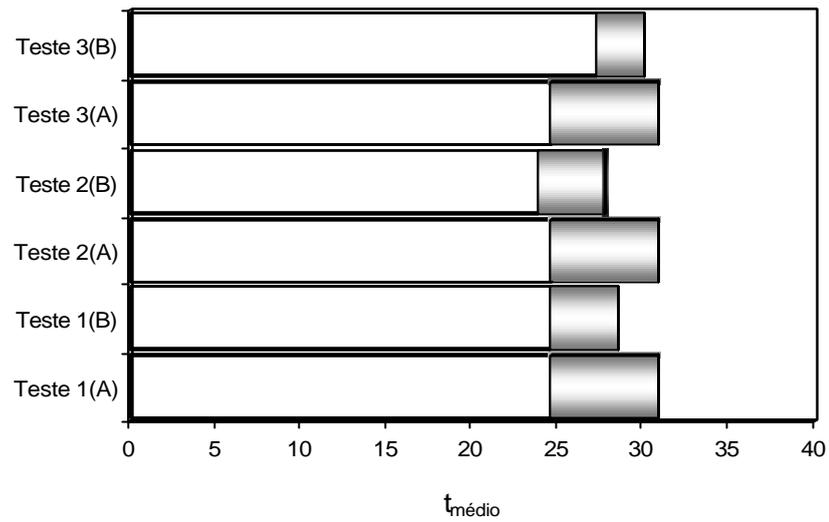


Figura 26. Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para valores médios do  $t_{\text{médio}}$  de sementes de carambola, para as condições dos testes 1, 2 e 3. Sementes sem secar (A); sementes imediatamente depois da secagem (B).

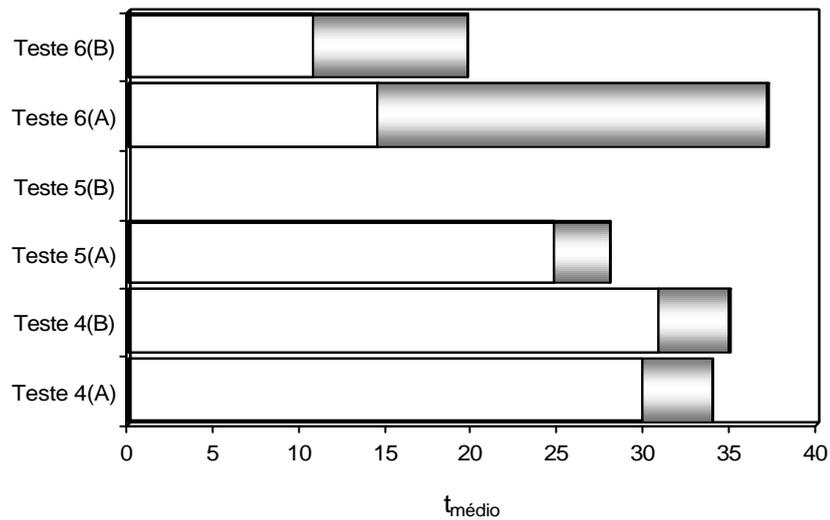


Figura 27. Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para valores médios do  $t_{\text{médio}}$  de sementes de carambola, para as condições dos testes 4, 5 e 6. Sementes sem secar (A); sementes imediatamente depois da secagem (B).

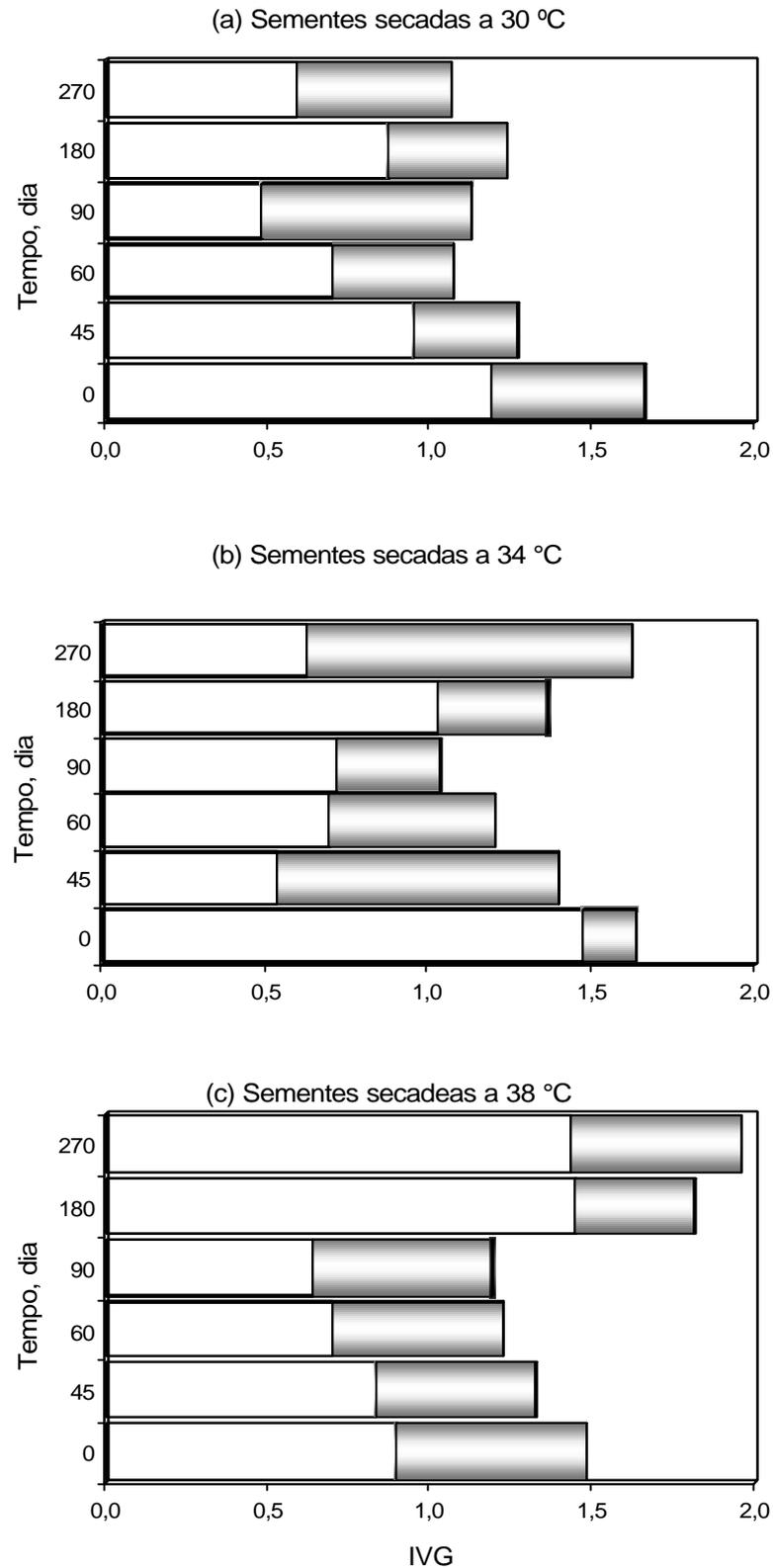


Figura 28. Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para o IVG de sementes de carambola imediatamente depois da secagem (dia zero) e aos 45, 60, 90, 180 e 270 dias de armazenamento. (a) teste 1; (b) teste 2; (c) teste 3.

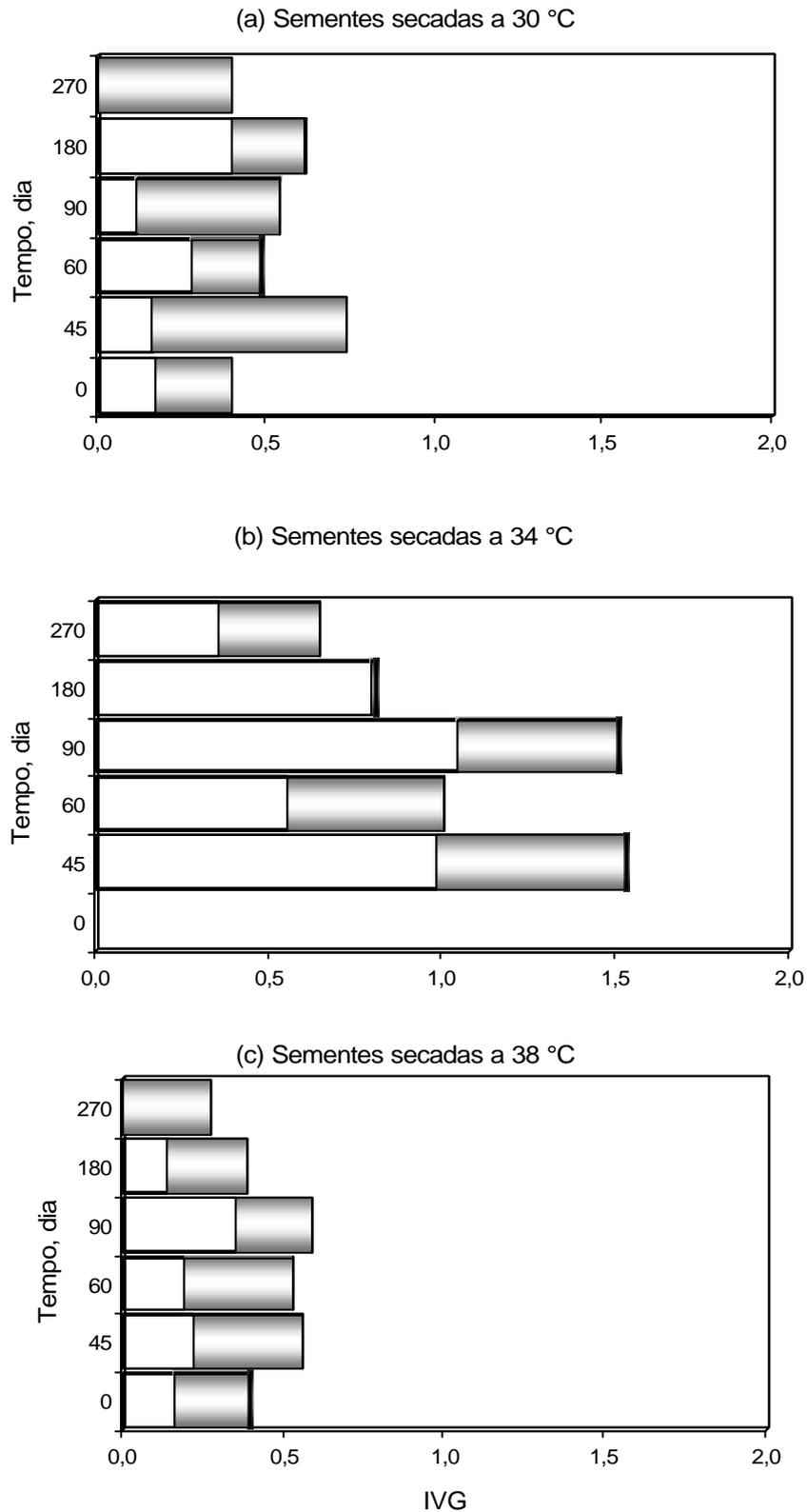


Figura 29. Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para o IVG de sementes de carambola imediatamente depois da secagem (dia zero) e aos 45, 60, 90, 180 e 270 dias de armazenamento. (a) teste 4; (b) teste 5; (c) teste 6.

Em relação aos resultados obtidos nos testes 4, 5 e 6, para cada um dos períodos de armazenamento, ao contrário do comportamento verificado anteriormente, os maiores valores de IVG foram observados para as sementes secadas a 34 °C (Figura 29). Para essa temperatura, os melhores resultados foram os observados aos 45 e 90 dias de armazenamento. A falta de homogeneidade das sementes empregadas nesses testes reflete-se novamente na desuniformidade do valor do IVG verificado para as sementes antes do processo de secagem, assim como também em praticamente todos os períodos de armazenamento, independentemente da temperatura de secagem. Em geral, não foi possível detectar nenhuma tendência definida de padrão de comportamento do vigor, medido pelo IVG, em função do período de armazenamento, para as temperaturas de 30 e 38 °C. No entanto, observando-se os valores da proporção de germinação (Figura 18), verifica-se, também, que os melhores resultados foram obtidos para sementes secadas a 34 °C. Portanto, no presente caso, o melhor potencial fisiológico das sementes de carambola foi aquele obtido no teste 5, em que as sementes foram secadas a 34 °C. No entanto, comparando-se os valores de IVG apresentados nas Figuras 28 e 29, constata-se que aqueles obtidos nos testes 1 a 3 são consistentemente maiores que os dos testes 4 a 6.

Como observado anteriormente, para os testes 1, 2 e 3 (Figura 26), houve diferença significativa entre os valores de IVG na secagem a 38 °C e armazenamento por 180 e 270 dias. Quanto aos testes 4, 5 e 6, observa-se, na Figura 27, que houve diferença significativa na secagem a 34 °C e armazenamento por 45 e 90 dias.

Nas Figuras 30 e 31 apresentam-se os valores médios do  $t_{\text{médio}}$  e o intervalo de confiança para sementes de carambola para as condições dos testes de 1 a 3 e 4 a 6, respectivamente. Para os testes 1 a 3, verifica-se que os maiores valores do vigor estimado pelo menor  $t_{\text{médio}}$ , em todas as temperaturas de secagem, foram obtidos para os períodos de armazenamento de 90 e 270 dias. Não se pode selecionar uma combinação de fatores que tenha se destacado no sentido de proporcionar um maior valor para o tempo médio de germinação e, conseqüentemente, o menor vigor. Portanto a obtenção da melhor estimativa do potencial fisiológico que ocorreu para o binômio 38 °C e 180 dias de armazenamento, para germinação e IVG, não se repetiu para o  $t_{\text{médio}}$ .

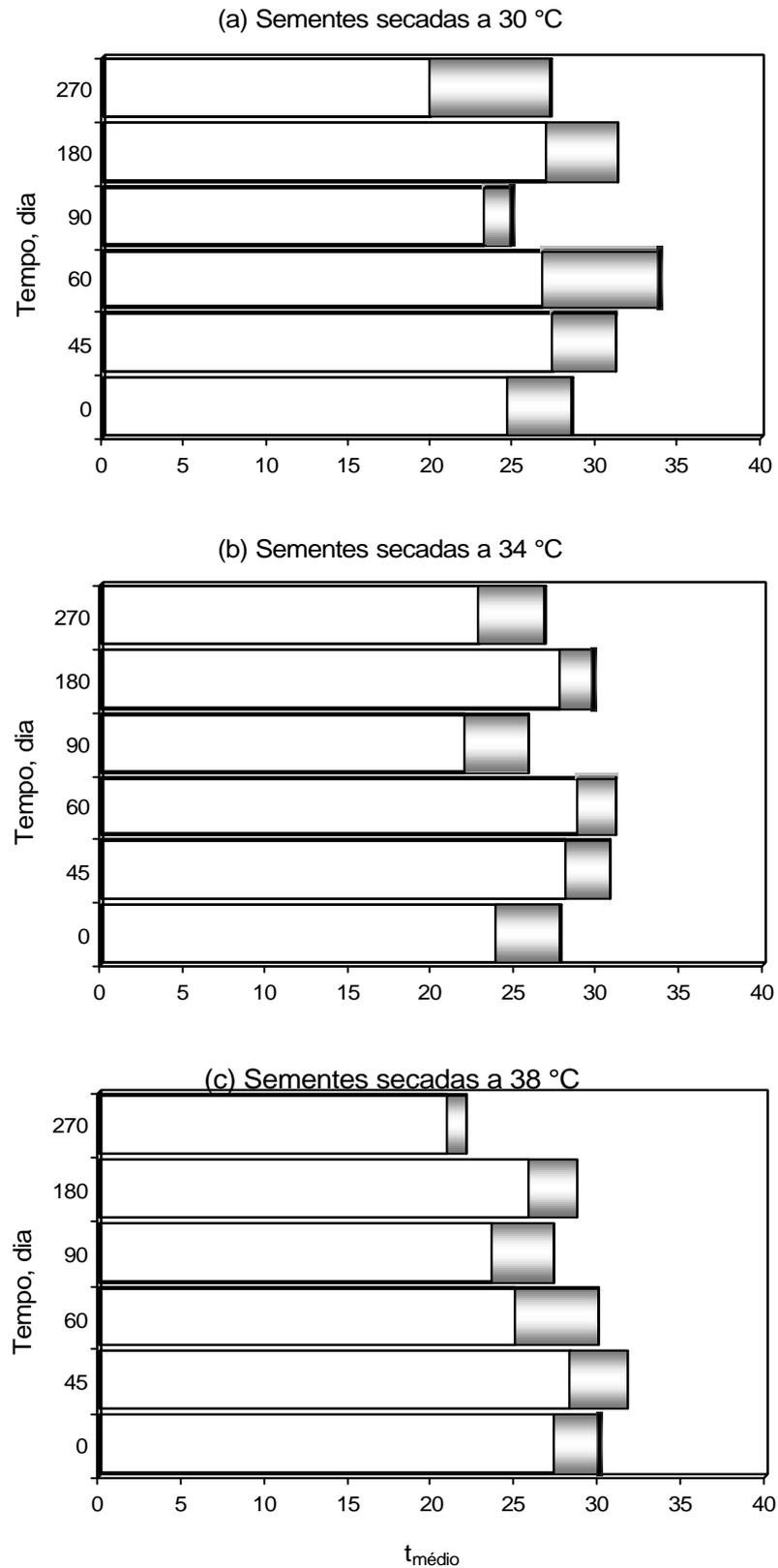


Figura 30. Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para o  $t_{\text{médio}}$  de sementes de carambola imediatamente depois da secagem (dia zero) e aos 45, 60, 90, 180 e 270 dias de armazenamento. (a) teste 1; (b) teste 2; (c) teste 3.

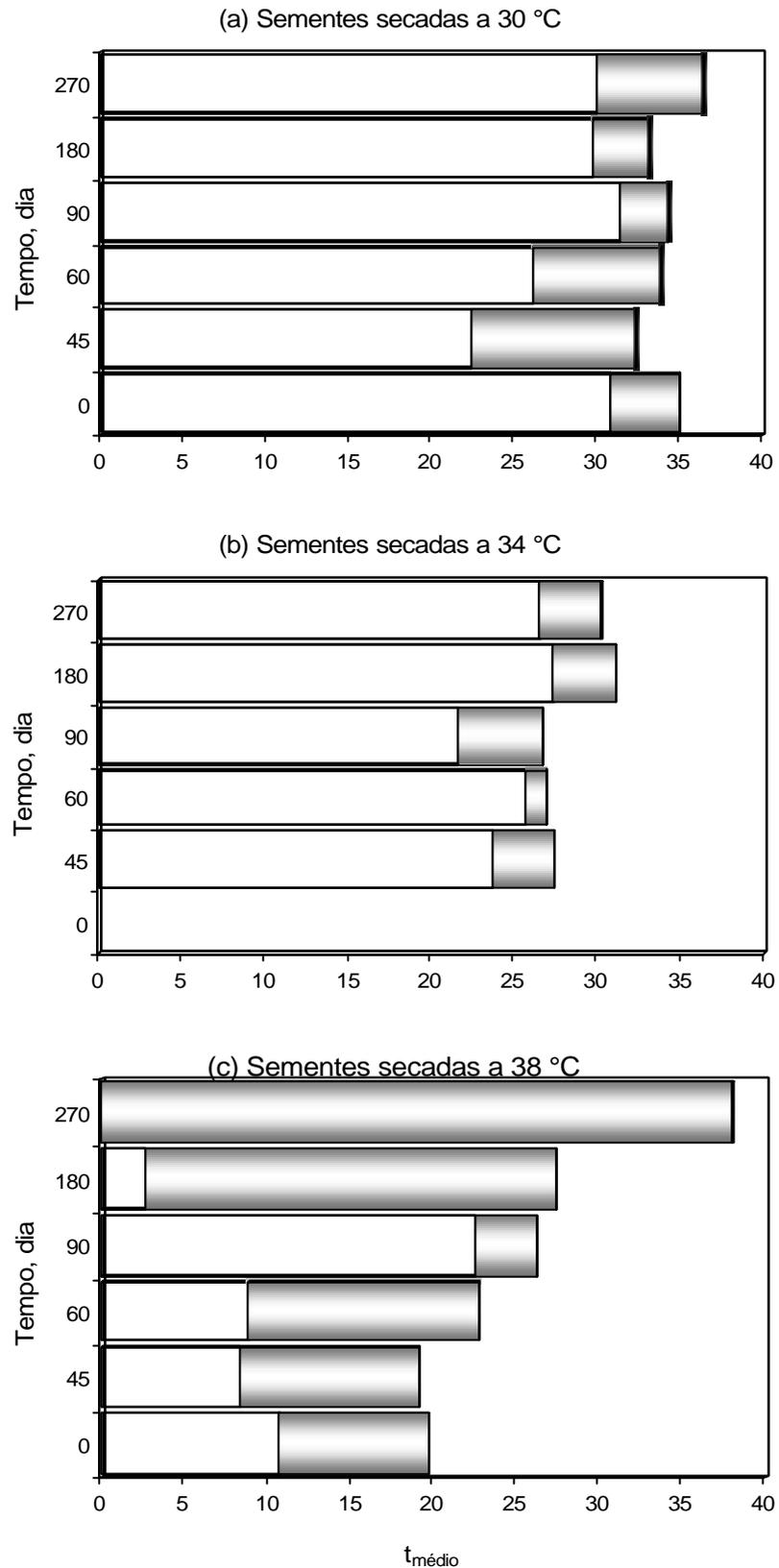


Figura 31. Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para o  $t_{\text{médio}}$  de sementes de carambola imediatamente depois da secagem (dia zero) e aos 45, 60, 90, 180 e 270 dias de armazenamento. (a) teste 4; (b) teste 5; (c) teste 6.

Para as condições em que foram realizados os testes 4, 5 e 6, observa-se, na Figura 31, que para todas as temperaturas de secagem, não houve influência significativa do período de armazenamento sobre o  $t_{\text{médio}}$ . Comparando-se o  $t_{\text{médio}}$  obtido logo depois da retirada das sementes dos frutos com aqueles obtidos nos diversos períodos de armazenamento, há indicações de que a secagem a 38 °C tenha atuado no sentido de aumentar o vigor das sementes, independentemente do período de armazenamento. Esse resultado confirma aquele observado na avaliação do potencial fisiológico pela mensuração da proporção de germinação e do IVG, com melhores resultados para as condições dos testes realizados a 38 °C.

## **4.2 Etapa experimental 2**

### **4.2.1 Caracterização biométrica e físico-química dos frutos**

Havendo sido estabelecidas, na primeira parte desse trabalho, as melhores condições, entre aquelas testadas, para o pré-processamento das sementes de carambola, principalmente o melhor resultado fisiológico em função da temperatura de secagem, nessa segunda etapa, o primeiro aspecto a ser avaliado foi a determinação de algumas das características biométricas e físico-químicas dos frutos.

Na Tabela 9 constam os resultados referentes aos valores médios de massa, comprimento e diâmetro equatorial dos frutos frescos de carambola de todos os lotes avaliados. Na Tabela 10 encontram-se os resultados relativos ao número de sementes por fruto e de algumas das características físico-químicas de frutos frescos de carambola, como os teores de água e de sólidos solúveis totais, o pH e os parâmetros que definem a coloração externa do fruto.

Em relação ao comprimento, os valores variaram entre 4,4 e 10,1 cm, com média geral e desvio padrão de  $7,3 \pm 1,3$  cm. Quanto ao diâmetro equatorial dos frutos, obteve-se média e desvio de  $4,5 \pm 0,8$  cm e valores mínimo e máximo de 2,7 e 7,8 cm. Araújo e Minami (2001) observaram variações médias de comprimento entre 8,6 e 11,7 cm ao avaliarem as características de 4500 carambolas coletadas em seis ocasiões, no período entre 1997 e 1999, de 15 plantas localizadas em pomar comercial em Mirandópolis, SP. Os diâmetros médios dos frutos variaram entre 4,7 e 6,5 cm. Oliveira et al. (1989a) observaram

Tabela 9. Média e desvio padrão dos parâmetros biométricos massa, comprimento e diâmetro equatorial dos frutos frescos de carambola.

Lote	Data de coleta dos frutos	Número de frutos coletados	Estádio de maturação	Parâmetros								
				Massa (g)			Comprimento (cm)			Diâmetro equatorial (cm)		
				Pequeno	Médio	Grande	Pequeno	Médio	Grande	Pequeno	Médio	Grande
9	15/03/06	1000	Verde	31,59±2,86	46,80±4,40	70,51±8,58	5,4±0,3	6,8±0,3	8,3±0,5	3,3±0,4	4,2±0,3	5,0±0,4
			Intermediário	27,20±1,45	43,56±2,20	87,52±19,17	4,8±0,3	6,4±0,3	9,2±0,5	2,9±0,2	4,0±0,1	5,4±0,6
			Maduro	32,35±3,89	42,87±4,62	78,53±12,01	5,0±0,4	6,8±0,4	8,7±0,6	3,5±0,3	3,9±0,3	5,2±0,4
10	20/03/06	400	Verde a maduro	34,35±8,19	50,30±9,54	64,70±5,49	5,8±0,3	6,7±0,4	8,2±0,3	3,4±0,7	4,4±0,5	4,8±0,3
11	24/03/06	400	Verde a maduro	32,69±4,50	48,72±8,91	75,65±6,13	5,2±0,5	7,2±0,2	8,9±0,2	3,4±0,4	4,1±0,5	5,1±0,3
12	31/03/06	84	Verde	31,32±4,14	60,51±8,78	62,03±6,05	6,0±0,3	7,9±0,6	8,3±0,4	3,9±0,1	4,8±0,2	5,0±0,1
			Intermediário	43,79±7,03	58,04±7,25	82,25±12,10	6,9±0,4	7,7±0,3	8,8±0,5	4,3±0,3	4,5±0,3	5,6±0,9
			Maduro	39,24±6,88	59,66±6,68	78,39±10,03	6,5±0,5	7,7±0,4	8,4±0,3	4,0±0,4	4,7±0,3	5,3±0,3

Tabela 10. Média e desvio padrão do número de sementes por fruto e de algumas das características físico-químicas de frutos frescos de carambola.

Lote	Data de coleta dos frutos	Número de frutos coletados	Estádio de maturação	Parâmetros										
				Número de sementes por fruto			Teor de água (% b.u.)	SST (°Brix)	pH	L	a	b	C	h°
				Pequeno	Médio	Grande								
9	15/03/06	1000	Verde	nd*	nd	nd	nd	4,5	nd	40,6	-9,0	24,5	26,4	100,9
			Intermediário	nd	nd	nd	nd	5,2	nd	39,6	-2,8	25,8	26,8	98,5
			Maduro	nd	nd	nd	nd	6,4	nd	39,4	5,0	26,0	28,8	80,6
10	20/03/06	400	Verde	nd	nd	nd	nd	6,0	3,8	nd	nd	nd	nd	nd
			Intermediário	nd	nd	nd	nd	6,3	4,0	nd	nd	nd	nd	nd
			Maduro	nd	nd	nd	nd	8,5	4,3	nd	nd	nd	nd	nd
11	24/03/06	400	Verde	nd	nd	nd	nd	5,0	3,6	31,3	-5,2	12,6	24,1	107,9
			Intermediário	nd	nd	nd	nd	6,0	3,8	31,8	-3,0	13,0	23,9	100,3
			Maduro	nd	nd	nd	nd	9,0	4,3	32,4	5,4	14,2	27,3	74,7
12	31/03/06	84	Verde	1,3±0,5	2,3±1,9	4,0±0,0	90,4±0,8	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
			Intermediário	1,2±0,4	2,6±2,2	3,6±2,1	91,0±0,5	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
			Maduro	1,8±1,0	2,0±1,5	3,1±2,0	90,3±0,5	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

\*nd = informação não disponível

variação no comprimento entre 6,02 e 9,40 cm ao avaliarem as características de 100 frutos de carambola provenientes de Estação Experimental localizada em Maracanaú, CE. Teixeira et al. (2001) caracterizaram seis cultivares de carambola, avaliando 20 frutos por cultivar, coletados na Estação Experimental de Citricultura de Bebedouro, SP. Os frutos foram colhidos no momento considerado ideal para comercialização. O comprimento variou entre 9,41 e 11,36 cm e o diâmetro entre 5,58 e 6,82 cm; concluíram que os frutos de maior tamanho foram aqueles dos cultivares Arkin, Fwang Tung e Nota-10.

Araújo e Minami (2001) observaram a existência de relação linear positiva ( $R^2 = 0,997$ ) entre o comprimento e o diâmetro dos frutos de carambola, ou seja, à medida que aumentava o comprimento ocorria o mesmo com o diâmetro e vice-versa. No presente trabalho, a reta de mínimos quadrados que se ajustou ao conjunto de valores de comprimento e diâmetro dos frutos não apresentou coeficiente de determinação satisfatório ( $R^2 = 0,6896$ ), indicando a irregularidade dos frutos quanto ao formato.

Em relação à massa, a média geral obtida foi de  $55,66 \pm 19,74$  g, com valores entre 25,48 e 125,75 g. No estudo de Araújo e Minami (2001), a menor e maior médias foram de 64,88 e 127,13 g, respectivamente. Oliveira et al. (1989a) relataram valores entre 28,4 e 94,9 g. Os resultados obtidos por Teixeira et al. (2001) revelaram que os frutos do cultivar Nota-10 foram os mais pesados (135,81 g), ao passo que aqueles do cultivar Golden Star foram os mais leves (89,07 g). Verifica-se, portanto, que, no presente experimento, considerando-se os limites inferiores dos parâmetros biométricos, foram utilizados sementes de frutos menores e mais leves que aqueles descritos na literatura nacional.

O número de sementes por fruto variou entre zero e sete, com média e desvio padrão de  $2,3 \pm 1,7$ . Observa-se, na Tabela 10, que, para todos os estádios de maturação, há uma relação diretamente proporcional entre o tamanho do fruto e o número de sementes por fruto. Akamine e Girolami (1957), citados por Nascimento et al. (1999), também verificaram a existência de correlação linear positiva entre o número de sementes e o tamanho de frutos de maracujá-amarelo. A frequência de distribuição do número de sementes por fruto é apresentada na Figura 32, onde se verifica que a maioria contém apenas uma única semente.

Este resultado revela a dificuldade de obtenção de sementes de carambola em número suficiente para a execução dos testes de avaliação do seu potencial fisiológico em função das variáveis analisadas. Ademais, esse resultado também contrasta com aqueles mostrados na Tabela 1, em que a maioria dos autores relata maior número médio de sementes por fruto. De qualquer forma, a média reduzida do número de sementes por fruto foi uma das razões para não se estabelecer, *a priori*, nenhum padrão de forma, tamanho ou estágio de maturação a ser utilizado na coleta dos frutos para o presente estudo.

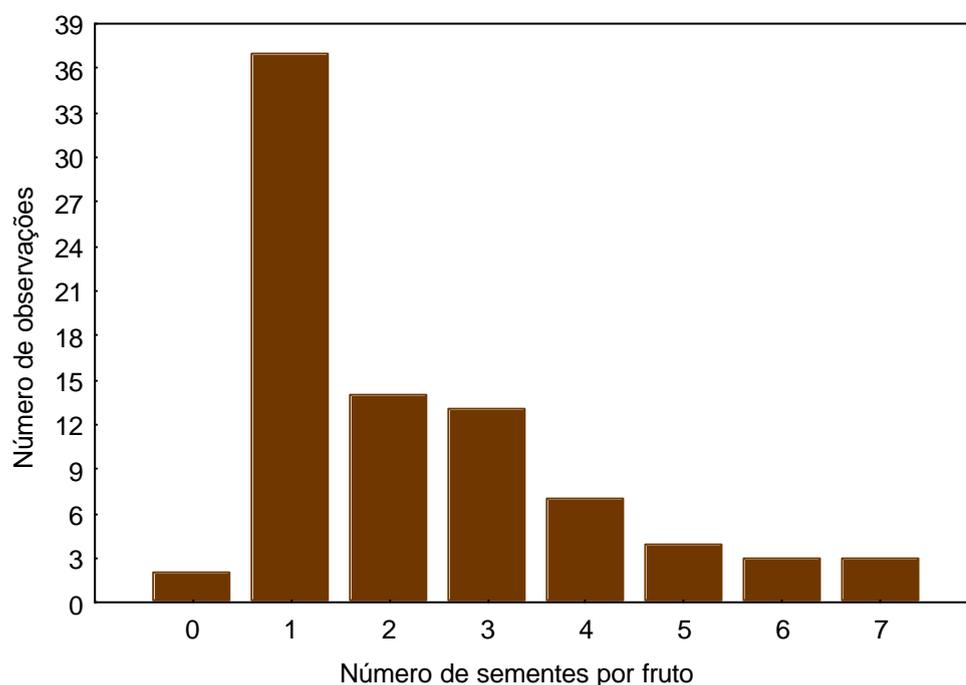


Figura 32. Histograma da frequência de distribuição do número de sementes por fruto (lote 12).

Os resultados relativos ao teor de sólidos solúveis totais (SST), Tabela 17, mostraram, como esperado, aumento significativo dessa variável à medida que o fruto amadurece na árvore. Os valores, para frutos maduros, variaram entre 6,4 e 9,0 °Brix. Teixeira et al. (2001) observaram variação de 7,9 a 10,3 °Brix para frutos maduros de seis cultivares de carambola. Araújo e Minami (2001) mencionaram variação na média do teor de SST entre 4,9 e 6,6 °Brix em 270 frutos dos tipos doce e ácido, coletados de 15 caramboleiras. Esses autores não observaram nenhuma tendência de correlação entre o número de sementes por

fruto e o teor de SST; no entanto, houve uma caramboleira que se destacou das demais ao apresentar elevado teor de SST e também um pequeno número de sementes, o que foi considerado uma característica interessante para frutos comercializados para o consumo *in natura* e determinados tipos de processamento. No presente caso, não foi feita nenhuma tentativa de estabelecer esse tipo de correlação, pois o objetivo não era a seleção de plantas. Naturalmente, para o estudo do potencial fisiológico das sementes, em termos práticos e dependendo da disponibilidade de frutos, o melhor seria utilizar apenas frutos grandes, que contêm maior número de sementes, aumentando a eficiência em todas as etapas do processamento.

O pH dos frutos variou entre 3,6 (verdes) e 4,3 (maduros), indicando frutos menos ácidos que aqueles estudados por Araújo e Minami (2001), com média de pH, dependendo da caramboleira, variando entre 1,6 e 3,3. O elevado teor de água obtido, de 90 a 91% b.u., é comparável com os valores obtidos por diversos autores, citados por Oliveira et al. (1989b), que variaram no intervalo entre 89,9 e 91,7% b.u.

Os parâmetros de Hunter ( $L$ ,  $a$ ,  $b$ ), o ângulo de cor  $^{\circ}h$  (tonalidade) e a intensidade da cor  $C$  (*Chroma*) de carambolas *in natura*, utilizadas no presente trabalho, também estão apresentados na Tabela 17. Os valores obtidos para a luminosidade  $L$  ( $31,3 \leq L \leq 40,6$ ) indicam que os frutos não apresentavam tendência ao escurecimento no momento da retirada das sementes. No entanto, os frutos do lote 9 apresentaram-se ligeiramente mais claros que aqueles do lote 11. Araújo e Minami (2001) e Teixeira et al. (2001) relataram valores de luminosidade no intervalo  $46,4 \leq L \leq 50,9$  e  $43,8 \leq L \leq 52,4$ , respectivamente, ou seja, os limites inferiores desses intervalos são maiores que o maior valor de  $L$  obtido no presente trabalho. Esse resultado evidencia que, em seus estudos para caracterização dos frutos, aqueles autores avaliaram carambolas com maior apelo comercial em termos de brilho ou luminosidade.

Quanto à variação de cor do verde ao vermelho, medida pelo parâmetro  $a$ , constatou-se, como esperado, que os frutos verdes apresentaram os menores valores e os maduros, os maiores. Isoladamente, quanto mais negativo o valor de  $a$ , mais próximo o objeto estará da cor verde e quanto mais positivo esse valor,

mais próximo estará do vermelho. Os resultados obtidos mostram o acerto na classificação arbitrária dos frutos quanto ao estágio de maturação em verdes, intermediários e maduros (Figura 7). Nesse sentido, o pequeno valor negativo de  $a$  (-2,8 e -3,0), nos frutos classificados como intermediários, mostra que nesses frutos ainda havia presença da cor verde.

Quanto ao parâmetro  $b$ , que mede a variação do azul (- $b$ ) ao amarelo (+ $b$ ), observou-se que a presença da cor amarela aumenta à medida que o estágio de maturação avança do verde ao maduro. Portanto, considerando-se apenas o plano  $a$ - $b$  no diagrama de Hunter (McLellan et al., 1995), verifica-se que a cor das carambolas classificadas como verdes e intermediários encontra-se no quadrante II do diagrama, ou seja, entre verdes e amarelo-esverdeadas; a cor dos frutos classificados como maduros encontram-se no quadrante I, com predominância da cor alaranjada. Verifica-se que os frutos do lote 9 apresentaram valores de  $b$  consistentemente maiores que aqueles do lote 11, para todos os estágios de maturação, indicando forte presença de pigmentação amarela naqueles frutos.

Em relação ao parâmetro  $C$ , que indica a intensidade de cor, os valores variaram entre  $26,4 \leq C \leq 28,8$  (lote 9) e  $24,1 \leq C \leq 27,3$  (lote 11). Araújo e Minami (2001) e Teixeira et al. (2001) observaram valores de intensidade de cor em frutos de carambola nos intervalos de  $20,6 \leq C \leq 28,9$  e  $17,5 \leq C \leq 25,9$ , respectivamente, ou seja, os valores obtidos nesse trabalho mostram o emprego de frutos com cores, em geral, mais intensas que aqueles citados na literatura nacional. Os valores do ângulo de cor ( $^{\circ}h$ ) que indicam a tonalidade ou matiz da cor, variaram, no presente experimento, entre  $74,7 \leq ^{\circ}h \leq 100,9$ . Os maiores valores foram observados em frutos verdes e os menores, em maduros. Valores de  $^{\circ}h$  maiores que 90 indicam que ainda estão ocorrendo alterações do verde para o amarelo na cor do fruto. Valores entre 45 e 90 (frutos maduros) indicam que está ocorrendo variação entre o amarelo e o alaranjado. Os valores observados por Araújo e Minami (2001) e Teixeira et al. (2001) encontram-se nos seguintes intervalos, respectivamente:  $107,1 \leq ^{\circ}h \leq 113,3$  e  $100,0 \leq ^{\circ}h \leq 115,0$ , mostrando o emprego de frutos de tonalidade mais amarelo-esverdeada, característica predominante em frutos provenientes de plantios comerciais e implantados a partir de variedades selecionadas.

#### 4.2.2 Secagem de sementes de carambola

Conforme estabelecido na primeira parte deste trabalho, o melhor resultado em termos de qualidade fisiológica das sementes, estimados aos 35 dias do teste de germinação, ocorreu para temperatura de secagem de 38 °C e armazenamento a 15 °C por 180 dias. Nesse sentido, nessa segunda etapa do trabalho, o objetivo principal foi avaliar dois tipos de embalagem e dois ambientes de armazenamento, para sementes de carambola secadas na mesma temperatura que proporcionou o melhor resultado em termos de qualidade fisiológica, ou seja, 38 °C.

Na Tabela 11 são apresentados os valores médios de temperatura e razão da mistura do ar ambiente, as condições iniciais e finais do produto, os parâmetros de secagem utilizados nos testes experimentais 9, 10 e 11, e seus resultados. Observa-se que, na primeira etapa da secagem, foram necessárias de 8 a 9 h de secagem para reduzir o teor de água inicial das sementes de cerca de 48% b.u. para valores entre 8,6 a 14% b.u., ou seja, a taxa de secagem média foi de 4,3 pontos percentuais de água retirados por hora de secagem. Depois de interrompida a secagem, as sementes permaneceram em repouso por 14 a 15 h, na condição do ambiente, antes de se iniciar a etapa final de secagem.

As condições médias de temperatura e umidade relativa do ambiente, durante o período de repouso, para os testes 9, 10 e 11 foram de 28,8±0,7 °C e 60,3±2,8%; 31,1±0,6 °C e 66,9±2,2%; 28,6±0,8 °C e 72,6±3,1%; respectivamente. A razão da mistura, para cada um desses pares de valores, foi de 0,0150; 0,0191 e 0,0179 kg de vapor d'água por kg de ar seco. O valor mais elevado da razão de mistura, observado para as condições do teste 10, pode ter sido responsável pela manutenção do teor de água das sementes em 8,6% b.u. durante o período de repouso. No entanto, para as sementes empregadas nos testes 9 e 11, verifica-se que houve secagem parcial, com reduções de 1,6 e 2,8 pontos percentuais de teor de água, respectivamente. Novamente, ao menor valor de razão da mistura do ar ambiente corresponde redução mais acentuada no teor de água, também acompanhada de maior valor para a taxa de secagem (0,1 e 0,2 pontos percentuais de água retiradas por hora de repouso, para os testes 9 e 11, respectivamente).

Tabela 11. Procedência dos frutos, condições médias do ar e das sementes de carambola, tempo de secagem e data de realização dos testes 9, 10 e 11.

Teste	9	10	11
<i>Procedência dos frutos</i>	Brejo Grande	Brejo Grande	Brejo Grande
<i>Data de realização da primeira etapa da secagem</i>	16/03/2006	21/03/2006	27/03/2006
<i>Condições do ar ambiente:</i>			
Temperatura, °C	31,0±0,8	30,8±0,4	28,5±0,9
Razão da mistura, kg kg <sup>-1</sup>	0,018±0,002	0,017±0,001	0,018±0,001
<i>Condições de secagem:</i>			
Temperatura, °C	38,5±1,1	38,0±1,0	37,5±2,2
Fluxo de ar seco, kg s <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup>	0,970±0,028	1,042±0,031	0,979±0,081
<i>Condições iniciais do produto:</i>			
Temperatura, °C	30,8	30,8	28,6
Teor de água, % b.u.	47,9±0,3	46,9±0,7	49,2±0,8
<i>Condições finais do produto :</i>			
Temperatura, °C	38,0	39,0	33,0
Teor de água, % b.u.	12,2±2,5	8,6±0,9	13,8±0,8
<i>Tempo de secagem:</i>			
Tempo, h	8,5	9,0	8,0
<i>Data de realização da segunda etapa da secagem</i>	17/03/2006	22/03/2006	28/03/2006
<i>Condições do ar ambiente:</i>			
Temperatura, °C	30,7±0,3	29,3±0,2	27,2±0,3
Razão da mistura, kg kg <sup>-1</sup>	0,017±0,001	0,018±0,000	0,015±0,002
<i>Condições de secagem:</i>			
Temperatura, °C	37,1±0,8	36,0±2,0	38,0±0,6
Fluxo de ar seco, kg s <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup>	1,051±0,040	1,038±0,013	1,067±0,029
<i>Condições iniciais do produto:</i>			
Temperatura, °C	30,7	34,0	28,6
Teor de água, % b.u.	10,6±2,3	8,6±0,9	11,0±0,8
<i>Condições finais do produto :</i>			
Temperatura, °C	37,1	36,0	39,0
Teor de água, % b.u.	6,9±0,7	8,7±0,3	5,9±0,2
<i>Tempo de secagem:</i>			
Tempo, h	4,0	1,0	4,0

No segundo dia de secagem, os testes tiveram início às 08:00 h e, à exceção do teste 10, tiveram duração de cerca de 4 h. As sementes empregadas nesse teste foram as que tiveram a maior redução no teor de água ao final do primeiro dia de secagem, provavelmente devido ao maior valor do fluxo de ar seco. Observa-se que, no teste 10, além da situação relativamente desfavorável em termos de condições ambientais durante o repouso, no segundo dia de secagem, não se logrou elevar a temperatura do ar além de 36 °C. A associação dessas duas condições fez com que as sementes entrassem em equilíbrio higroscópico com o ar de secagem em um valor comparativamente elevado, 8,7% b.u., e, portanto, não tendo sido possível uma redução adicional do teor de água.

Nos testes 9 e 10, o teor de água foi reduzido de cerca de 11% b.u. para 7 e 6% b.u., respectivamente. A maior taxa de secagem das sementes no teste 11 pode ser explicada pelo menor valor da razão da mistura e maior valor do fluxo de ar seco. As ilustrações da variação dos valores experimentais de teor de água das sementes de carambola em função do tempo de secagem, no primeiro e segundo dias de secagem, para todos os testes desta etapa, encontram-se nas Figuras 33 e 34, respectivamente.

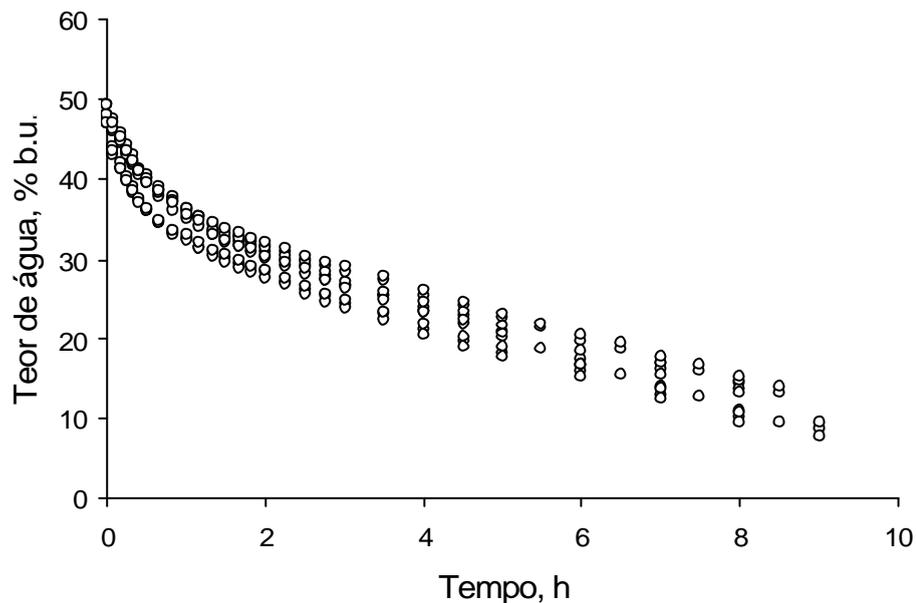


Figura 33. Variação do teor de água em função do tempo de secagem na primeira etapa do processo, a  $38,0 \pm 1,5^\circ\text{C}$  e razão da mistura de  $0,018 \pm 0,002$ , para os testes 9, 10 e 11.

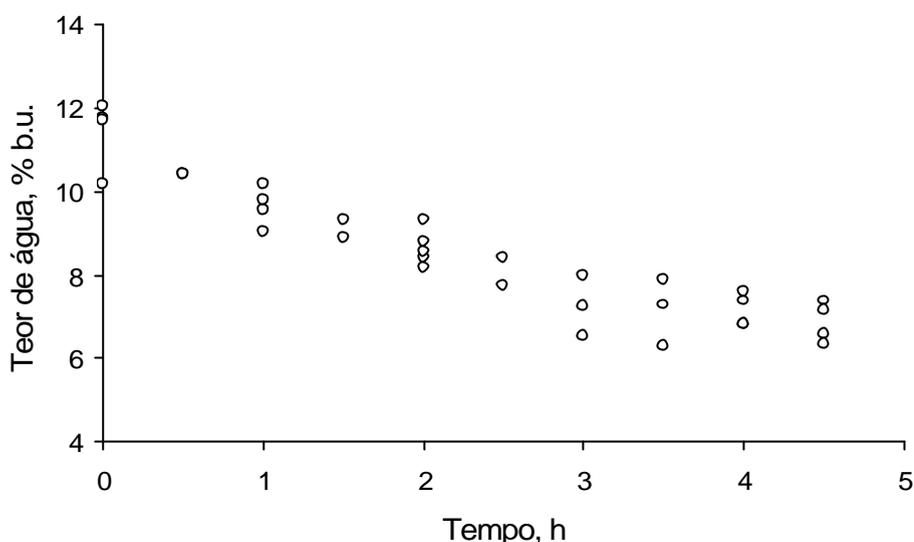


Figura 34. Variação do teor de água em função do tempo de secagem na segunda etapa do processo, a  $37,3\pm 1,2^{\circ}\text{C}$  e razão da mistura de  $0,017\pm 0,002$ , para os testes 9 e 11.

#### 4.2.3 Avaliação da qualidade fisiológica das sementes de carambola em laboratório

Como especificado anteriormente, o objetivo dessa segunda parte do trabalho foi avaliar dois tipos de embalagem, permeável e impermeável a vácuo, sob duas condições de armazenamento, temperatura controlada em câmara do tipo B.O.D. e sob as condições variáveis do ambiente de laboratório, por 90 e 180 dias. A combinação destas variáveis resultou em oito condições experimentais de armazenamento, que foram comparadas com os resultados obtidos com as sementes antes e imediatamente depois da secagem (Tabela 12). Os valores de temperatura e umidade relativa, para todas as condições, foram medidos por termohigrômetro com sistema automático de aquisição de dados.

Na primeira parte deste trabalho, na ausência de normas ou regras definidas para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de carambola, arbitrou-se em 35 dias o tempo de duração do teste de germinação. Na ocasião, verificou-se que, na contagem final, ainda havia um número significativo de

sementes não germinadas e que tampouco pareciam estar mortas, indicando um possível estado de dormência secundária. A análise visual dessas sementes, tanto externa quanto internamente, indicou que as partes que as compõem permaneciam íntegras, ou seja, nem o tegumento, o endosperma ou o embrião apresentavam sinais visíveis de deterioração. Ao se realizar o teste de tetrazólio, verificou-se que as sementes permaneciam viáveis.

Tabela 12. Resumo das condições experimentais a que foram submetidas as sementes de carambola na segunda etapa do trabalho.

Condição	Tempo e condição de armazenamento (dias)	Temperatura no ambiente de armazenamento (°C)			Umidade relativa no ambiente de armazenamento (%)			Tipo de embalagem
		Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima	
1	*	-	-	-	-	-	-	-
2	**	-	-	-	-	-	-	-
3	90 / B.O.D.	9,6±0,3	7,8	11,8	81,5±2,3	70,7	87,3	permeável
4	180 / B.O.D.	9,8±0,3	7,8	13,3	81,8±2,2	57,3	93,8	permeável
5	90 / Ambiente	25,1±1,4	21,7	31,1	60,9±6,8	34,7	76,0	permeável
6	180 / Ambiente	25,0±1,7	19,0	31,9	61,0±7,1	25,9	91,7	permeável
7	90 / B.O.D.	9,6±0,3	7,8	11,8	81,5±2,3	70,7	87,3	impermeável
8	180 / B.O.D.	9,8±0,3	7,8	13,3	81,8±2,2	57,3	93,8	impermeável
9	90 / Ambiente	25,1±1,4	21,7	31,1	60,9±6,8	34,7	76,0	impermeável
10	180 / Ambiente	25,0±1,7	19,0	31,9	61,0±7,1	25,9	91,7	impermeável

\* sementes sem secar; \*\* sementes logo depois da secagem

Sendo assim, nessa segunda etapa do trabalho, a duração do teste de germinação foi estendida para 84 dias. A primeira contagem foi feita no 14º dia e as demais em intervalos regulares de 7 dias, num total de onze avaliações. Os resultados destas contagens são apresentados na Tabela 13, mostrando o percentual de sementes germinadas e, dentre elas, as que originaram plântulas normais e anormais, além do percentual de sementes dormentes e deterioradas. Foi classificada como plântula normal aquela que se apresentou bem vigorosa, com parte aérea e sistema radicular bem desenvolvidos e tamanho do hipocótilo igual ou superior a 2 cm. A contagem para a condição 1 foi terminada aos 56 dias, pois o substrato se desintegrou, não permitindo a continuação da avaliação. As sementes que não germinaram encontravam-se completamente deterioradas. A contagem para a condição 2 foi interrompida aos 42 dias, devido à contaminação das sementes e substrato por diversos tipos de microorganismos.

Tabela 13. Percentual de sementes de carambola que germinaram, dando origem a plântulas normais e anormais, percentual de sementes dormentes e deterioradas, para dez condições avaliadas.

Condição	Plântula normal (%)	Plântula anormal (%)	Dormente (%)	Deteriorada (%)
1	87,0	0	0	13,0
2	20,0	nd*	nd	nd
3	87,0	2,5	7,0	3,5
4	55,0	16,0	1,0	28,0
5	57,0	12,5	10,0	20,5
6	9,5	17,0	4,0	69,5
7	86,5	1,0	7,0	5,5
8	82,5	7,0	4,0	6,5
9	76,5	12,0	5,5	6,0
10	56,5	29,5	1,0	13,0

\*nd = informação não disponível.

Nesta condição, verificou-se o desenvolvimento de uma microbiota mista sobre a maioria das sementes, evidenciada pela presença de fungos filamentosos e colônias de diferentes aspectos e coloração. Esta intensa atividade biológica resultou na produção de um metabólito com alta viscosidade, que envolvia toda a semente. A análise deste material por microscopia de contraste de fase (Microscópio JENA modelo Jenamed 2), empregando a técnica de lâmina a fresco, mostrou a presença de duas espécies de bacilos, um deles muito curto e móvel e o outro longo, imóvel e de menor diâmetro. A observação de amostras dos demais contaminantes, utilizando a mesma metodologia, mostrou ainda a presença de grande população de leveduras globulares, diplobacilos, bacilos isolados e cocos.

Os valores dos percentuais de germinação de sementes de carambola para as condições de 1 a 10, estimados aos 84 dias do teste de germinação, são mostrados na Tabela 14. Na Figura 35 encontram-se os intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para proporção de germinação, antes e logo depois da secagem, para sementes de carambola armazenadas sob diversas condições em embalagem permeável. Os valores correspondentes para sementes armazenadas em embalagem impermeável estão na Figura 36.

Tabela 14. Percentual de germinação de sementes de carambola em função do período de armazenamento, tipo de embalagem, temperatura média de secagem e teores de água inicial e final.

Condição	Tempo e condição de armazenamento (dias)	Tipo de embalagem	Temperatura de secagem (1º e 2º dia) (°C)	Teor de água inicial (% b.u.)	Teor de água final (% b.u.)	Germinação (%)
1*	-	-	-	47,9±0,3	47,9±0,3	87,0
2**	-	-	38,5 e 37,1	47,9±0,3	6,9±0,7	20,0
3	90 / B.O.D.	permeável	38,0 e 36,0	8,7±0,3	9,3±0,1	87,0
4	180 / B.O.D.	permeável	38,5 e 37,1	6,9±0,7	9,4±0,3	55,0
5	90 / Ambiente	permeável	37,5 e 38,0	5,9±0,2	6,7±0,1	57,0
6	180 / Ambiente	permeável	38,5 e 37,1	6,9±0,7	6,8±0,1	9,5
7	90 / B.O.D.	impermeável	38,0 e 36,0	8,7±0,3	8,4±0,5	86,5
8	180 / B.O.D.	impermeável	38,5 e 37,1	6,9±0,7	7,0±0,7	82,5
9	90 / Ambiente	impermeável	37,5 e 38,0	5,9±0,2	5,7±0,1	76,5
10	180 / Ambiente	impermeável	38,5 e 37,1	6,9±0,7	7,3±0,6	56,5

\* sementes sem secar; \*\* sementes logo depois da secagem

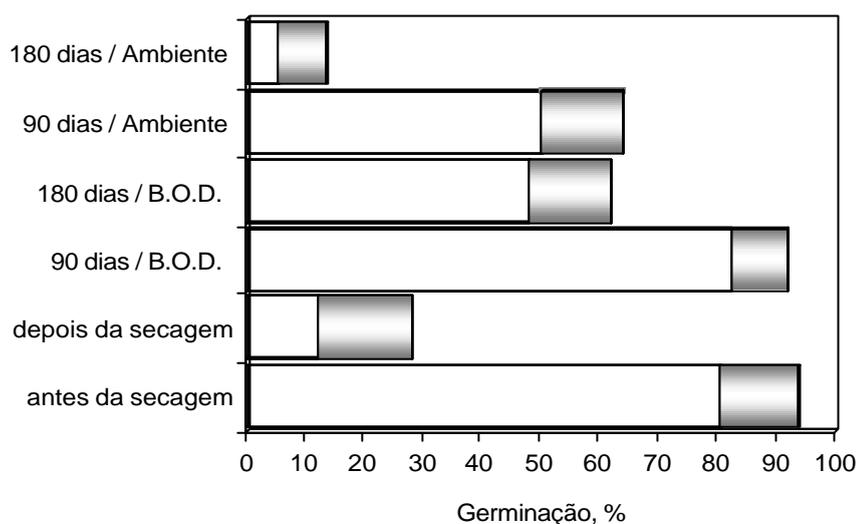


Figura 35. Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para proporção de germinação de sementes de carambola, antes e logo depois da secagem, e armazenadas por 90 e 180 dias, a cerca de 10 °C em B.O.D e em temperatura ambiente, em embalagem permeável.

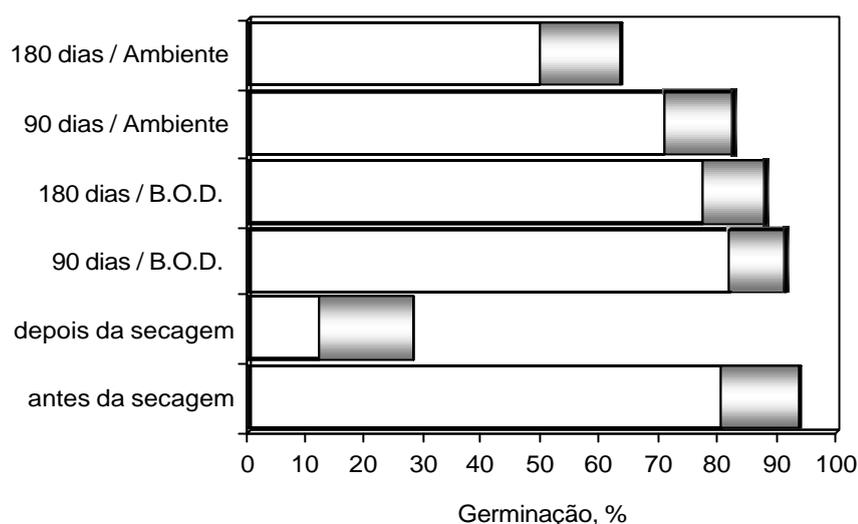


Figura 36. Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para proporção de germinação de sementes de carambola, antes e logo depois da secagem, e armazenadas por 90 e 180 dias, a cerca de 10 °C em B.O.D e em temperatura ambiente, em embalagem impermeável a vácuo.

Ao contrário do observado na primeira parte desse trabalho, em que não foi observado nenhum efeito imediato deletério da temperatura de secagem a 38 °C sobre a germinação de sementes de carambola, nessa segunda parte, observa-se que houve redução significativa do percentual de germinação imediatamente depois de sua secagem à mesma temperatura (Tabela 14 e Figuras 35 e 36). No entanto, como explicado anteriormente, é mais provável que essa redução drástica no percentual de germinação de 87 para 20%, deva-se à contaminação das sementes por microorganismos, e sua conseqüente deterioração, do que ao efeito da temperatura de secagem propriamente dita.

Quanto à utilização de embalagem permeável para estocagem de sementes de carambola, verifica-se, na Figura 35, que apenas aquelas armazenadas em B.O.D. a  $8,7 \pm 0,3$  °C não apresentaram redução significativa no percentual de germinação em relação àquele observado quando as sementes foram retiradas dos frutos. O período de armazenamento de 180 dias teve influência negativa sobre a germinação para as duas condições de estocagem, temperatura controlada em B.O.D e em ambiente. Aliás, a condição ambiente foi

desfavorável para qualquer das situações avaliadas, não sendo, portanto, indicada para o armazenamento de sementes de carambola em embalagem permeável.

Para sementes armazenadas em embalagem impermeável, Figura 36, a única condição desfavorável foi o armazenamento por 180 dias em condição ambiente ( $25,0 \pm 1,7$  °C e umidade relativa de  $61,0 \pm 7,1\%$ ). Portanto, à exceção dessa condição, pode-se concluir que não houve influência significativa do período e tampouco das condições de armazenamento sobre a germinação de sementes de carambola estocadas em embalagem impermeável a vácuo. Ademais, comparando-se as Figuras 35 e 36, observa-se que o armazenamento em embalagem impermeável a vácuo resultou em percentuais de germinação consistentemente maiores que aqueles observados em embalagem permeável. Esses resultados também confirmam, ao contrário do que se afirma na literatura (Donadio et al., 2001; Nakasone e Paull, 1988, citados por Bastos et al., 2004), que as sementes de carambola podem manter o percentual de germinação mesmo depois de ter seu teor de água reduzido de 48% b.u. para valores entre 6 e 8% b.u., empregando-se temperatura de secagem de 38 °C, podendo, inclusive, ser armazenadas por 90 ou 180 dias, a 10 °C, e por 90 dias, em temperatura ambiente em embalagem impermeável a vácuo.

Comparações diretas desses resultados com aqueles obtidos na primeira parte do trabalho são dificultadas pelas diferentes condições utilizadas, ou seja, a temperatura de armazenamento foi de 15 °C, e não 10 °C, e as sementes não foram embaladas a vácuo na embalagem impermeável. Além disso, o período de duração do teste de germinação foi de apenas 35 dias, em contraposição aos 84 dias de duração empregados nessa segunda parte. É provável que essas diferenças sejam responsáveis pela distinção verificada no desempenho fisiológico das sementes nos dois casos. No entanto, houve coincidência nos dois casos no que concerne a condições adequadas para a manutenção das sementes de carambola: armazenamento por 180 dias, em embalagem impermeável, seja a vácuo ou não, a 10 ou 15 °C, com teor de água de 5,4% a 7,0% b.u.

Nessa segunda etapa do trabalho, a estimativa do vigor das sementes para o experimento realizado em condições de laboratório foi feita de forma semelhante àquela da primeira etapa experimental. Apresenta-se, nas Figuras 37

e 38, os valores médios e os respectivos intervalos de confiança do IVG de sementes de carambola, antes e imediatamente depois da secagem, e armazenadas por 90 e 180 dias, em embalagem permeável e impermeável, respectivamente. Os valores correspondentes para o  $t_{\text{médio}}$  encontram-se nas Figuras 39 e 40, respectivamente. A análise dos valores mostrados nas Figuras 37 e 38 evidencia que, em geral e independentemente do período e da temperatura de armazenamento, o vigor estimado pelo IVG foi consistentemente maior para as sementes estocadas em embalagens impermeáveis a vácuo. Esse mesmo comportamento foi verificado para a proporção de germinação das sementes, mostrada na Figura 36. Para sementes estocadas em embalagem permeável, apenas aquelas armazenadas por 90 dias em B.O.D. a 10 °C mostraram desempenho semelhante em termos de IVG.

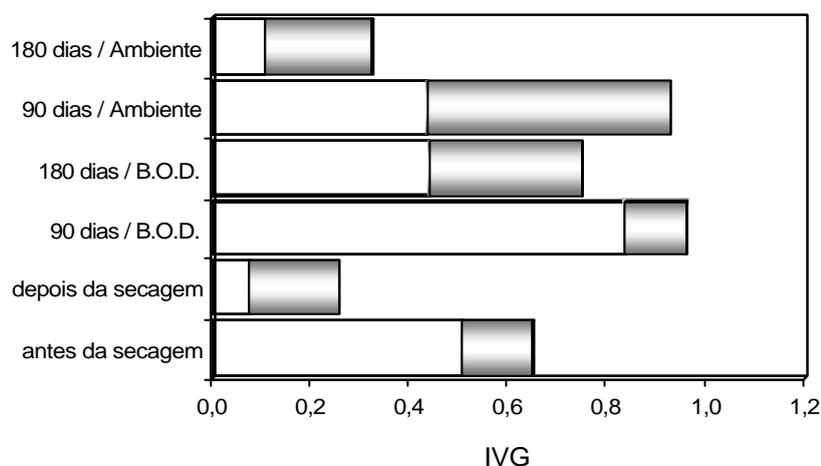


Figura 37. Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para o IVG de sementes de carambola, antes e logo depois da secagem, e armazenadas por 90 e 180 dias, a cerca de 10 °C em B.O.D e em temperatura ambiente, em embalagem permeável.

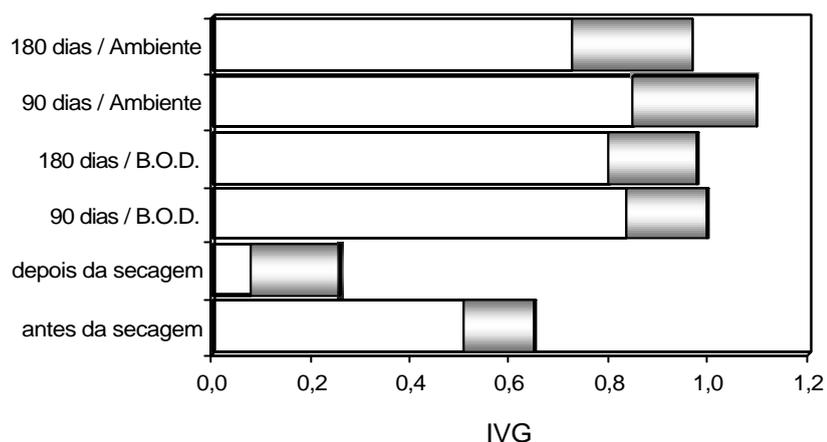


Figura 38. Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para o IVG de sementes de carambola, antes e logo depois da secagem, e armazenadas por 90 e 180 dias, a cerca de 10 °C em B.O.D e em temperatura ambiente, em embalagem impermeável.

O vigor estimado pelo  $t_{\text{médio}}$  (Figuras 39 e 40) indica que o melhor desempenho foi obtido para sementes armazenadas a 10 °C, em embalagens impermeáveis. Os valores não devem ser comparados com aqueles obtidos para as sementes antes e imediatamente após a secagem, uma vez que estes testes foram interrompidos antes dos 84 dias. Para a condição ambiente (25 °C), assim como havia ocorrido para o IVG, o  $t_{\text{médio}}$  só foi comparável às melhores condições obtidas em embalagem impermeável para sementes armazenadas por 90 dias em B.O.D. a 10 °C. Conclui-se, portanto, que o melhor desempenho fisiológico, comparando os três parâmetros estudados, foi aquele observado para sementes armazenadas em embalagem impermeável, a 10 °C, por períodos de 90 ou 180 dias.

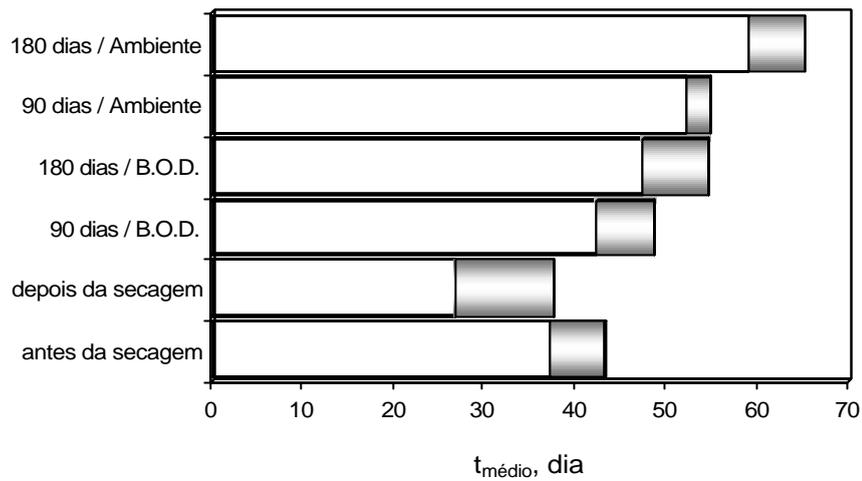


Figura 39. Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para o  $t_{\text{médio}}$  de sementes de carambola, antes e logo depois da secagem, e armazenadas por 90 e 180 dias, a cerca de 10 °C em B.O.D e em temperatura ambiente, em embalagem permeável.

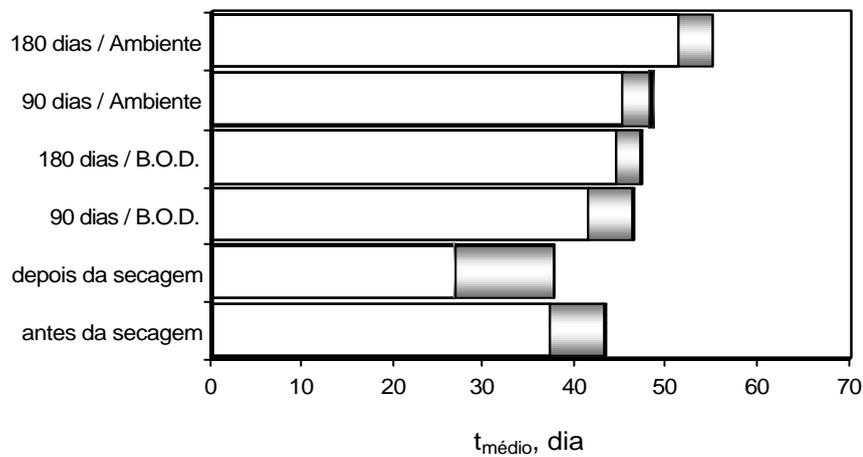


Figura 40. Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para o  $t_{\text{médio}}$  de sementes de carambola, antes e logo depois da secagem, e armazenadas por 90 e 180 dias, a cerca de 10 °C em B.O.D e em temperatura ambiente, em embalagem impermeável.

#### **4.2.4 Avaliação da qualidade fisiológica das sementes de carambola em ambiente protegido**

Como especificado anteriormente, o terceiro objetivo desse trabalho foi avaliar a qualidade fisiológica das sementes de carambola, estimada pelo testes de germinação e vigor, em ambiente protegido. Essa etapa foi realizada em instalação localizada na Unidade de Apoio à Pesquisa (UAP) do Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias (CCTA) da UENF. No entanto, durante sua execução, os valores diários de temperatura e umidade relativa do ar foram coletados na Estação Evapotranspirométrica do Laboratório de Engenharia Agrícola da UENF, localizada na área experimental da PESAGRO-RJ, em Campos dos Goytacazes, nas coordenadas de latitude 21° 45' S e longitude 41° 18' W. As condições climáticas relevantes para a época de execução desse trabalho, de 17/03 a 07/07/2006, encontram-se na Tabela 15. Apresentam-se, na Figura 41, as ilustrações das plântulas de caramboleira, em visão geral e em detalhes, obtidas em ambiente protegido.

O percentual de germinação das sementes recém retiradas dos frutos e colocadas em tubetes contendo substrato comercial Plantmax foi de 74%. O valor correspondente para sementes colocadas para germinar imediatamente depois da secagem foi de 98%. Para efeito de comparação, apresentam-se, na Figura 42, os intervalos da proporção de germinação de sementes de carambola, tanto para os testes realizados em condições de laboratório, quanto para aqueles em ambiente protegido. É importante ressaltar que o valor de 20% de germinação não deve ser considerado nessa comparação, uma vez que o teste correspondente, para sementes imediatamente depois da secagem e colocadas para germinar entre rolos de papel Germitest, foi interrompido na metade da duração da contagem, ou seja, aos 42 dias, quando o substrato e as sementes encontravam-se totalmente contaminados por microorganismos. Na análise das diferenças, é necessário destacar, também, que o tempo de duração dos testes foi diferente, ou seja, de 85 dias, em laboratório, e de 110 dias, em ambiente protegido. Além disso, a primeira semente emergida, em ambiente protegido, foi observada aos 25 dias, ao passo que nas condições de laboratório, esse período variou de 14 a 21 dias.

Tabela 15. Valores médios das condições climáticas relevantes em Campos dos Goytacazes, RJ, para a época de execução dos trabalhos de avaliação da qualidade fisiológica de sementes de carambola em ambiente protegido.

Mês	T <sub>média</sub>	T <sub>máxima</sub>	T <sub>mínima</sub>	UR <sub>média</sub>	UR <sub>máxima</sub>	UR <sub>mínima</sub>	Radiação solar
Março <sup>1/</sup>	25,8	31,4	21,7	77,6	99,7	41,8	245
Abril	23,9	29,5	20,1	80,3	99,9	48,2	183
Maio	21,0	26,9	16,5	74,5	97,0	42,7	161
Junho	20,0	25,8	15,6	76,8	97,6	43,2	152
Julho <sup>2/</sup>	19,2	25,1	15,2	82,6	99,9	47,3	144

<sup>1/</sup> 17 a 31/03/2006; <sup>2/</sup> 01 a 07/07/2006; T<sub>média</sub> = temperatura média diária (°C); T<sub>máxima</sub> = temperatura máxima diária (°C); T<sub>mínima</sub> = temperatura mínima diária (°C); UR<sub>média</sub> = umidade relativa média diária (%); UR<sub>máxima</sub> = umidade relativa máxima diária (%); UR<sub>mínima</sub> = umidade relativa mínima diária (%); Radiação solar (W m<sup>-2</sup>)



Figura 41. Plantas de caramboleira em ambiente protegido.

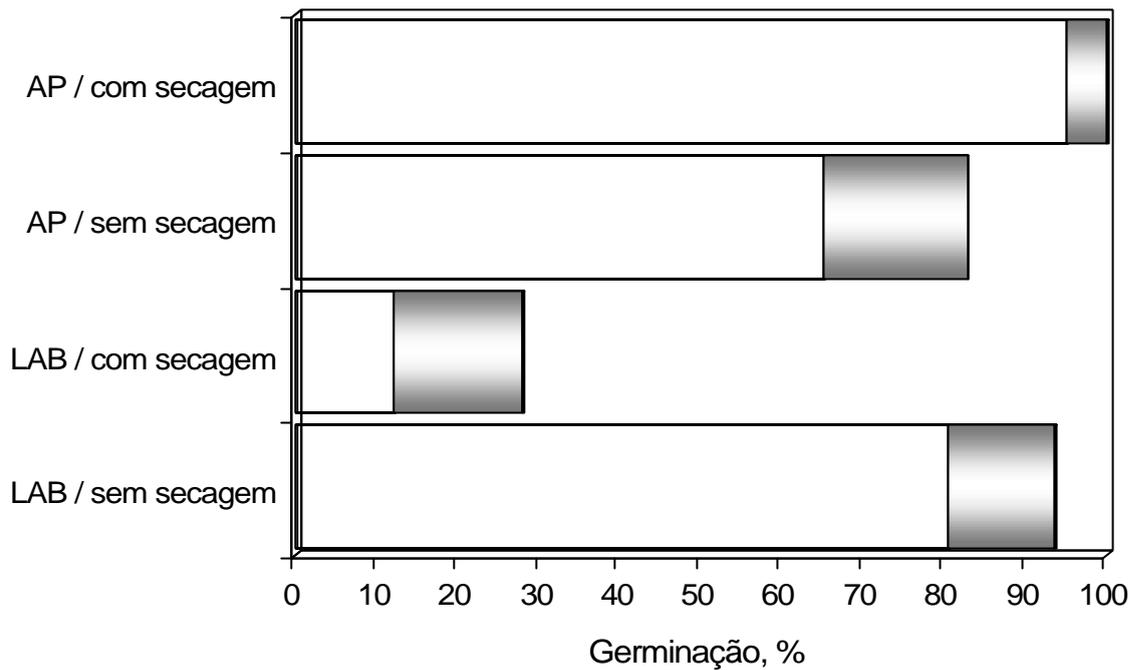


Figura 42. Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para proporção de germinação de sementes de carambola em condições de laboratório (LAB) e em ambiente protegido (AP), antes e logo depois da secagem.

De qualquer forma, observa-se, no presente caso, que a secagem a 38 °C contribuiu para o aumento do percentual de germinação em ambiente protegido. Na primeira parte do trabalho, para as condições dos testes 1 a 3, não houve efeito imediato da secagem a 38 °C no percentual de germinação das sementes; observou-se, naquela ocasião, que o efeito da secagem foi latente, quando se verificou melhora significativa no percentual de germinação, aos 180 dias de armazenamento. É provável que a carga microbiana em sementes secas seja menor que naquelas recém-retiradas dos frutos; portanto, considerando-se tanto o elevado teor de água quanto a possível presença de restos de arilo não removidos durante a lavagem, é possível que essas sementes sejam mais suscetíveis ao ataque de microorganismos presentes no substrato, aumentando-se, assim, o nível de deterioração e reduzindo-se seu potencial fisiológico. Outra possibilidade, não excludente em relação à anterior, seria a quebra de algum mecanismo de dormência nas sementes provocada pelas condições ambientais a que foram submetidas em ambiente protegido.

Nessa segunda etapa do trabalho, a estimativa do vigor no experimento realizado em ambiente protegido foi feita avaliando-se o Índice de Velocidade de Emergência (IVE), o  $t_{\text{médio}}$ , a curva de crescimento das plântulas e a massa de matéria seca da parte aérea. Apresenta-se, na Figura 43 e 44, os valores médios e intervalos de confiança para o IVE e  $t_{\text{médio}}$  das sementes de carambola, antes e imediatamente depois da secagem. Observa-se, nessas figuras, que a secagem a 38 °C não teve efeito estatisticamente significativo sobre o IVE e  $t_{\text{médio}}$ .

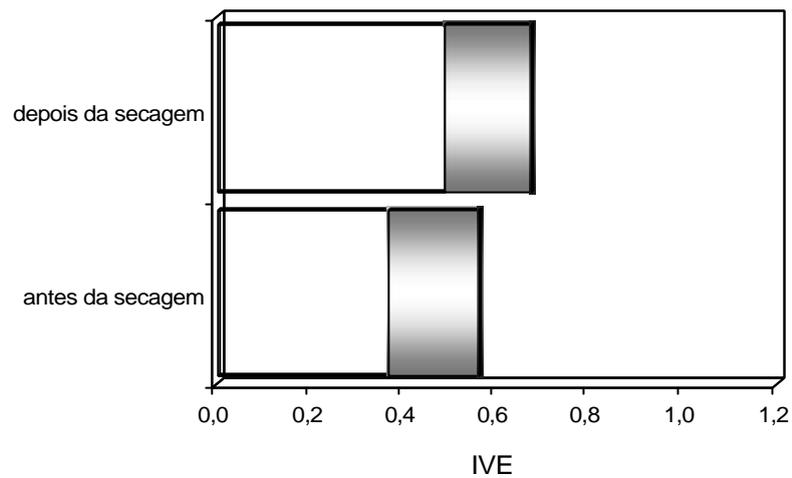


Figura 43. Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para o IVG de sementes de carambola, antes e logo depois da secagem, em ambiente protegido.

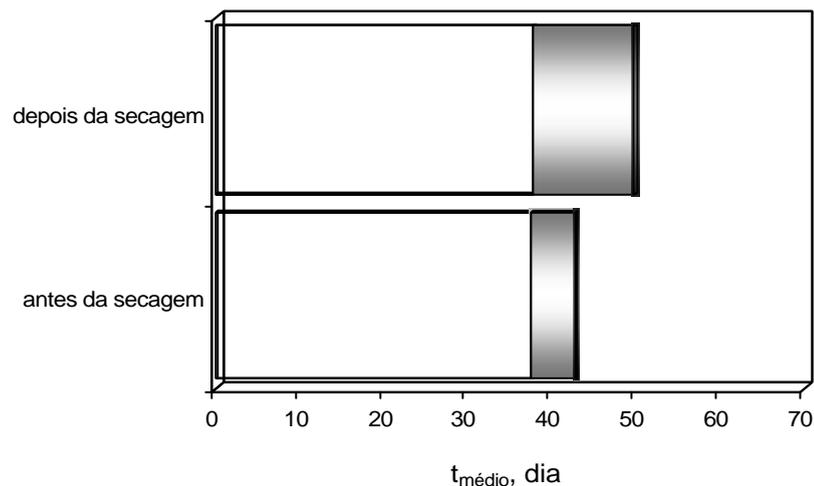


Figura 44. Intervalos de confiança, a 95% de probabilidade, para o  $t_{\text{médio}}$  de sementes de carambola, antes e logo depois da secagem, em ambiente protegido.

As curvas de crescimento das plantas, para sementes submetidas ou não à secagem, são mostradas na Figura 45. A amostra, para cada tempo, foi representativa de população infinita, para nível de significância de 5% e desvio de 5% em torno da média amostral. A equação de regressão, Equação (4), que representa a curva de crescimento de plantas originadas de sementes submetidas ou não a secagem, obtida com a utilização de variável binária, para a análise de identidade de modelo, foi significativa a 1% de probabilidade, considerando o modelo polinomial de segundo grau, analisando a altura em função do tempo. Na Equação (4),  $h$  representa a altura estimada da planta, em cm;  $s$  é a variável binária que indica se houve ou não secagem das sementes, ou seja,  $s = 1$  ou  $s = 0$ , respectivamente. O coeficiente de determinação da Equação (4), que foi obtida empregando-se todos os valores observados de altura, para cada idade da planta, e não a sua média, foi de 72%.

$$h = 2,01426 + 0,11705 t - 0,00075 t^2 + 0,02435 s.t \quad (4)$$

Na comparação dos coeficientes de regressão, o intercepto foi o mesmo para ambas situações, não diferindo, portanto, a 5% de probabilidade. O mesmo não ocorreu com a declividade das curvas, ou seja, o crescimento das plantas obtidas de sementes que foram secadas ( $s = 1$ , na Equação 4) foi significativamente superior ao daquelas obtidas de sementes que não o foram ( $s = 0$ , na Equação 4). Encontram-se, na Tabela 16, as equações de regressão das curvas de crescimento para as duas situações analisadas.

O desempenho das plantas, em termos de vigor, foi avaliado também pela massa da matéria seca da parte aérea ao final de 110 dias em ambiente protegido. Ilustrações típicas das plantas de caramboleira, com detalhamento da parte aérea e do sistema radicular, são mostradas na Figura 46.

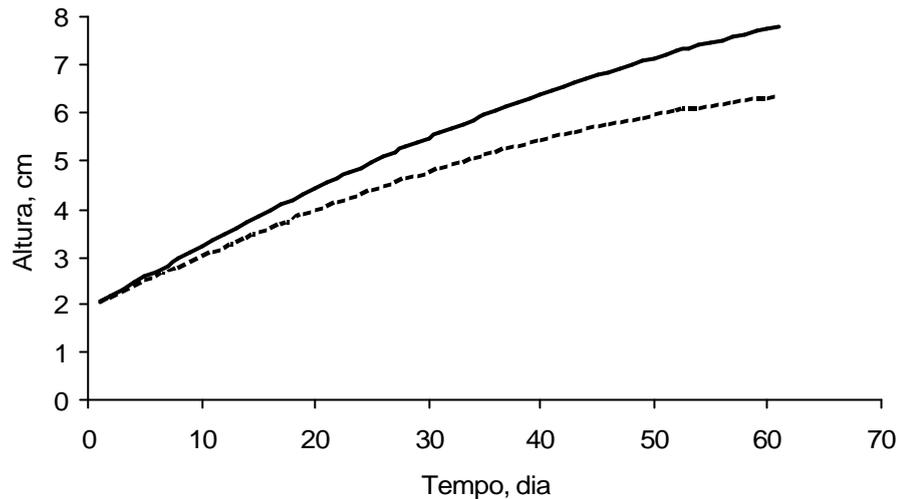


Figura 45. Curva de crescimento das plantas de caramboleira em função da idade. ----, sementes recém retiradas dos frutos, sem secar, com teor de água de 48% b.u.; —, sementes logo depois da secagem a 38 °C, com teor de água de 7% b.u.

Tabela 16. Equações de regressão para a altura das plantas  $h$  (cm) de caramboleira, em função da idade  $t$  (dia), originadas de sementes sem secar, com teor de água de 48% b.u., e depois de secadas a 38 °C, com teor de água de 7% b.u.

Condição	Equação de regressão
Sementes sem secar (48% b.u.)	$h = -0,00075t^{2**} + 0,11705t^{**} + 2,01426$
Sementes secadas (7% b.u.)	$h = -0,00075t^{2**} + 0,14140t^{**} + 2,01426$

\*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

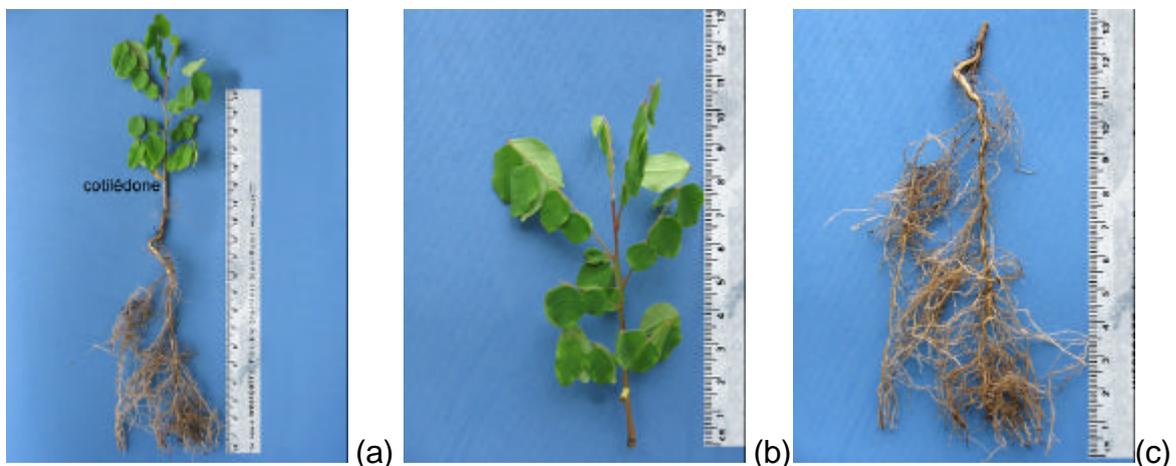


Figura 46. Imagem de planta de caramboleira (a), com detalhes da parte aérea (b) e raiz (c). Planta originada de semente plantada logo depois da secagem a 38 °C, nas condições especificadas na Tabela 18, para o teste 9. Fotografia retirada 70 dias depois da abertura do cotilédone.

As curvas de variação da massa da matéria seca da parte aérea das plantas em função do tempo (dia), para sementes submetidas ou não à secagem, são mostradas na Figura 47. Nas Figuras 45 e 47, o tempo representa o número de dias após a abertura dos cotilédones. A amostra, para cada tempo, foi representativa de população infinita, para nível de significância de 5% e desvio de 5% em torno da média amostral. A equação de regressão, Equação (5), para a massa da matéria seca da parte aérea de plantas oriundas de sementes submetidas ou não a secagem, e obtidas com a utilização de variável binária, para a análise de identidade de modelo, foi significativa a 5% de probabilidade, considerando o modelo linear de 1º grau, da massa seca ( $m$ ) da parte aérea das plantas em função da idade. Na Equação (5),  $\hat{m}$  representa a massa estimada, em g;  $s$  é a variável binária que indica se houve ou não secagem das sementes, ou seja,  $s = 1$  ou  $s = 0$ , respectivamente. O coeficiente de determinação da Equação (5), que foi obtida empregando-se todos os valores observados de massa, para cada idade da planta, e não a sua média, foi de 67%. Apresentam-se, na Tabela 17, as equações de regressão das curvas de variação da massa da matéria seca da parte aérea das plantas para as duas situações analisadas.

$$\hat{m} = -0,09083 + 0,00224 t + 0,00019 s.t \quad (5)$$

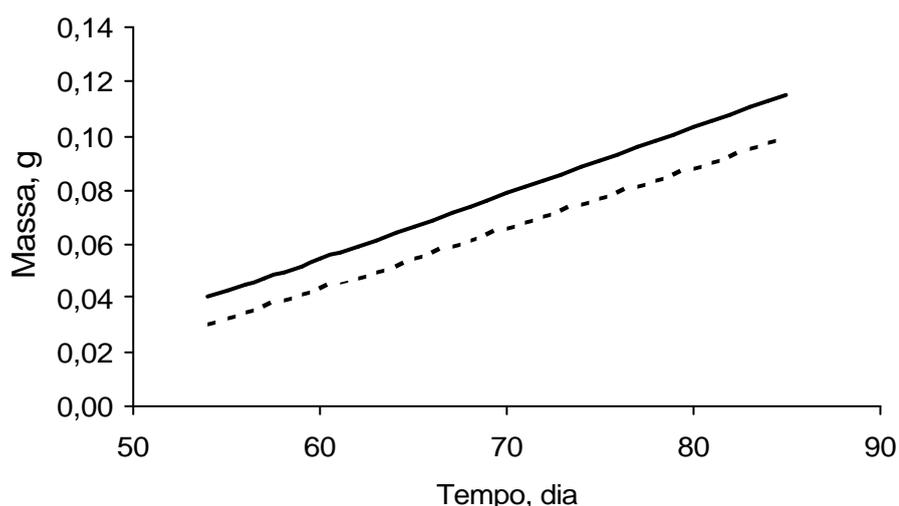


Figura 47. Variação da massa de matéria seca da parte aérea de plantas de caramboleira em função da idade. ----, sementes recém-retiradas dos frutos, sem secar, com teor de água de 48% b.u.; —, sementes logo depois da secagem a 38 °C, com teor de água de 7% b.u.

Tabela 17. Equações de regressão para a massa de matéria seca da parte aérea das plantas  $\hat{m}$  (g) de caramboleira, em função da idade t (dia), originadas de sementes sem secar, com teor de água de 48% b.u., e depois de secadas a 38 °C, com teor de água de 7% b.u.

Condição	Equação de regressão
Sementes sem secar (48% b.u.)	$\hat{m} = -0,09083 + 0,002248t^*$
Sementes secadas (7% b.u.)	$\hat{m} = -0,09083 + (0,002238 + 0,000186)t^*$

\* significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

## 5. RESUMO E CONCLUSÕES

Procurou-se, no presente trabalho, pesquisar os seguintes aspectos relacionados ao processamento de sementes de carambola (*Averrhoa carambola* L.): investigar os efeitos imediato e latente da temperatura do ar de secagem e do teor de água inicial na qualidade fisiológica de sementes em condições controladas de laboratório em germinador; comparar o efeito de dois tipos de embalagem, permeável e impermeável, sob duas condições de estocagem, ambiente e câmara refrigerada a 10 °C, na viabilidade das sementes ao longo do armazenamento e determinar a qualidade fisiológica das sementes em ambiente protegido. O trabalho experimental foi dividido em duas etapas. Na primeira delas, as sementes foram secadas a 30, 34 e 38 °C, com fluxo de ar seco de 1,123 kg s<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>, armazenadas a 15 °C por 45, 60, 90, 180 e 270 dias. O teor de água inicial e final dos lotes variou no intervalo entre 29 e 54% b.u. e entre 5 e 14% b.u., respectivamente. Os testes de secagem foram realizados de forma contínua, em camada delgada, em protótipo de secador de bandejas, com fluxo de ar tangencial. Além dessas condições avaliou-se também as sementes recém-retiradas dos frutos (sem secagem) e imediatamente depois da secagem (sem armazenamento). As sementes foram extraídas de seis lotes de frutos adquiridos no mercado local ou colhidos em pomares, em diversos estádios de maturação, de tamanho e formato variáveis. Dois testes foram realizados com sementes retiradas de um lote de frutos em avançado estágio de fermentação. A avaliação da qualidade fisiológica foi feita por meio de testes de vigor [Índice de Velocidade

de Germinação (IVG) e Tempo Médio de Germinação ( $t_{\text{médio}}$ )] e do teste de germinação, com duração de 35 dias. Na segunda etapa do trabalho, as sementes foram secadas a 38 °C, com fluxo de ar seco de  $1,025 \text{ kg s}^{-1} \text{ m}^{-2}$  e o teor de água foi reduzido de 48% b.u. para 6 a 9% b.u. Foram testados dois tipos de embalagem, permeável e impermeável a vácuo, nas quais as sementes foram armazenadas a 10 °C por 90 e 180 dias. A avaliação da qualidade fisiológica (IVG,  $t_{\text{médio}}$  e teste de germinação) foi feita em condições controladas de laboratório em germinador, com duração de 84 dias, e em ambiente protegido (IVE,  $t_{\text{médio}}$ , curva de crescimento e massa da matéria seca da parte aérea) em tubetes contendo substrato comercial, com duração de 110 dias. As conclusões do trabalho são descritas a seguir.

### 5.1 Etapa experimental 1

Não houve efeito imediato significativo da temperatura do ar de secagem nem do teor de água final das sementes sobre o percentual de germinação, que se manteve entre 65 e 77%, nos melhores casos. O período de armazenamento entre zero e 90 dias, para qualquer dos valores de temperatura de secagem, teve efeito negativo sobre o percentual de germinação. No entanto, a germinação aumentou significativamente quando o período de armazenamento estendeu-se de 90 para 180 dias, revelando que a secagem induziu algum mecanismo de dormência nas sementes, com sua superação em determinado momento desse período. Em apenas um dos testes observou-se que, aos 180 dias de armazenamento, as sementes passaram a apresentar percentual de germinação maior que aqueles observados antes e imediatamente depois da secagem; entre 180 e 270 dias, houve redução significativa no percentual de germinação. Dentre as condições testadas, as sementes secadas a 38 °C e armazenadas por 180 dias a 15 °C foram as que apresentaram maior proporção de germinação (85%). Os resultados também mostraram que sementes obtidas de frutos fermentados perdem a viabilidade, apresentando germinação máxima de 16%. Além disso, a embebição por imersão das sementes em água por 4 h antes da semeadura não teve efeito significativo sobre a germinação em nenhuma das condições avaliadas. Quanto ao vigor, verificou-se que, durante a estocagem, valores de

IVG superiores àquele observado depois da retirada das sementes dos frutos, foram obtidos apenas para sementes secadas a 38 °C e armazenadas por 180 e 270 dias.

## 5.2 Etapa experimental 2

Os resultados obtidos nos testes de laboratório revelaram que as sementes podem ser armazenadas em embalagem impermeável a vácuo, sem redução do poder germinativo, por 90 ou 180 dias a 10 °C, e, por 90 dias em condição ambiente (25 °C e 61% de umidade relativa), em embalagem permeável. A análise dos resultados evidenciou também que, independentemente do período e da temperatura de armazenamento, o vigor estimado pelo IVG foi consistentemente maior para as sementes estocadas em embalagens impermeáveis a vácuo. Em ambiente protegido, a secagem a 38 °C contribuiu para o aumento do percentual de germinação de 74% (sementes recém-retiradas dos frutos) para 98%. Não houve diferença significativa entre os índices de vigor estimados pelo IVE e pelo  $t_{\text{médio}}$ , quando se comparam plântulas originadas de sementes recém-retiradas dos frutos com aquelas obtidas a partir de sementes secadas. No entanto, pela curva de crescimento das plantas e pela variação da massa da matéria seca da parte aérea, observou-se que as plantas mais vigorosas foram as originadas de sementes que passaram pelo processo de secagem.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrianual (2005) *Anuário da Agricultura Brasileira*. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio. 521p.
- Almeida, E.J., Martins, A.B.G., Andrade, R.A. (2002) Influência do armazenamento e da embebição de sementes de caramboleira (*Averrhoa carambola* L.). Anais do Congresso Brasileiro de Fruticultura, 17, Belém: Sociedade Brasileira de Fruticultura.
- AOAC (1990) Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis. 15<sup>a</sup> ed. Arlington: AOAC. 1298p.
- Araújo, P.S.R. e Minami, K. (2001) Seleção de caramboleiras pelas características biométricas e físico-químicas dos frutos. *Scientia Agrícola*, 58(1):91-99.
- ASAE – American Society of Agricultural Engineers (2000) ASAE Standards. ASAE S358.2: Moisture Measurement – Forages. St. Joseph: ASAE, p.565.
- Bastos, D.C. (2004) A cultura da carambola. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26(2):0-0.
- Bastos, D.C., Martins, A.B.G., Junior, E.J.S., Sarzi, I., Fatinansi, J.C. (2004) Influência do ácido indolbutírico no enraizamento de estacas apicais e basais de caramboleira (*Averrhoa carambola* L.) sob condições de nebulização intermitente. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26(2):284-286.
- Bastos, D.C. (2005) *Propagação de caramboleira por estacas caulinares e caracterização anatômica e histológica da formação de raízes adventícias*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Piracicaba – SP. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz / USP. 65 p.

- Borghetti, F., Ferreira, A.G. (2004) Interpretação de resultados de germinação. In: Ferreira, A.G., Borghetti, F. *Germinação: do básico ao aplicado*. Porto Alegre: Artmed. 323 p.
- Brasil (1992) Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Departamento Nacional de Defesa Vegetal. Coordenação de Laboratório Vegetal. Regras para Análise de Sementes. Brasília. 365 p.
- Brooker, D.B., Bakker-Arkema, F.W., Hall, C.W. (1982) *Drying cereal grains*. Westport: The Avi Publishing Company, 265p.
- Bruce, R. (1785) An account of the sensitive quality of the tree *Averrhoa carambola*. In a letter from Robert Bruce, M.D. to Sir Joseph Banks, Bart. P.R.S. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 75:356-360.
- Burdon, J.N. (2001) Postharvest handling of tropical and subtropical fruit for export. In: Mitra, S. (ed.) *Postharvest physiology and storage of tropical and subtropical fruits*. Wallingford: CABI Publishing, p. 1-19.
- Cardoso, R.C.D., Nascimento, A.R., Barbosa, W.C. (2003) Descrição morfológica e físico-química dos frutos de caramboleira (*Averrhoa carambola* L.). In: 54<sup>o</sup> Congresso Nacional de Botânica e 3<sup>a</sup> Reunião Amazônica de Botânica, 2003, Belém/Ananindeua – PA. Anais do 54<sup>o</sup> Congresso Nacional de Botânica e 3<sup>a</sup> Reunião Amazônica de Botânica. São Paulo, 2003.
- Cardoso, V.J.M.C. (2004) Dormência: estabelecimento do processo. In: Borghetti, F., Ferreira, A.G. (orgs.) *Germinação: do básico ao aplicado*. Porto Alegre: Artmed, p. 95-108.
- Carlesso, V.O. (2005) Secagem e qualidade fisiológica de sementes de maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Degener). Tese (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 69p.
- CEAGESP – Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo (2006) Contato: Fale conosco. Disponível em <<http://www.ceagesp.gov.br/servicos/>>. Acesso em 20/10/2006.
- Cochran, W.G. (1977) *Sampling Techniques*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 448p.
- Crane, J.H. (1994) The carambola. Fact Sheet HS-12. University of Florida: IFAS Extension. 6 p.
- Donadio, L.C., Silva, J.A.A., Araújo, P.S.R., Prado, R.M. (2001) *Caramboleira (Averrhoa carambola* L.). Série Frutas Potenciais. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Fruticultura. 81 p.
- Ellis, R.H., Roberts, E.H. (1980) Improved equations for the prediction of seed longevity. *Annals of Botany*, 45: 13-30.

- Ellis, R.H., Hong, T.D., Roberts, E.H. (1985) Oxalidaceae. Handbook of Seed Technology for Genebanks – Volume II. In: Ellis, R.H., Hong, T.D., Roberts, E.H. (eds.) *Compendium of Specific Germination Information and Test Recommendations*. Rome: International Board for Plant Genetic Resources. Chapter 52.
- Epstein, L.H.H (2000). Carambola e fruta-pão – Comunicação. *Bahia Agrícola*. Publicação Quadrimestral da Secretaria da Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária (SEAGRI) do Estado da Bahia. Disponível em: < [http://www.bahia.ba.gov.br/seagri/RevBaAgr/rev\\_112000/carampao.htm](http://www.bahia.ba.gov.br/seagri/RevBaAgr/rev_112000/carampao.htm)>. Acesso em 13/11/2006.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2006) FAOSTAT: Production – Core production data. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx>>. Acesso em: 05/12/2006.
- Fletcher, R. (2001) Australian new crops: Listing of useful plants of the world (Previously known as Listing of Potential New Crops for Australia). Disponível em: <<http://www.newcrops.uq.edu.au/listing/listingindex.htm#Intro>>. Acesso em: 17/11/2006.
- Gomes, F.P. (1978) *Iniciação à Estatística*. 6ª Edição (revista e ampliada). São Paulo: Livraria Nobel. 211p.
- IOM – Institute of Medicine (2006) Food and Nutrition. Dietary Reference Intakes – The Complete Set. Disponível em <<http://www.iom.edu/CMS/3788/4574.aspx>>. Acesso em: 16/11/2006.
- Lorenzi, H., Matos, F.J.A. (2002) *Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas cultivadas*. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora Ltda. p. 362.
- Lorenzi, H., Bacher, L., Lacerda, M., Sartori, S. (2006) *Frutas brasileiras e exóticas cultivadas (de consumo in natura)*. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora Ltda. p.11.
- Marcos Filho, J. *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas*. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz – FEALQ. 495p.
- Martin, I.C., Caramori, J.S.T., Barretti, P., Soares, V.A. (1993) Solução intratável desencadeado por ingestão de carambola (*Averrhoa carambola*) em portadores de insuficiência renal crônica. *Jornal Brasileiro de Nefrologia*, 15:92-94.
- McLellan, M.R., Lind, L.R., Kime, R.W. (1995) Hue angle determinations and statistical analysis for multiquadrant Hunter L,a,b data. *Journal of Food Quality*, 18:235-240.
- Melo, E.C., Lopes, D.C., Corrêa, P.C. (2004) GRAPSI – Programa computacional para o cálculo das propriedades psicrométricas do ar. *Engenharia na Agricultura*, 12:145-154.
- McGuire, R.G. (1992) Reporting of objective color measurements. *HORTSCIENCE*, 27:1254-1255.

- Nascimento, T.B., Ramos, J.D., Menezes, J.B. (1999) Características físicas do maracujá-amarelo produzido em diferentes épocas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 34:2353-2358.
- NEPA-UNICAMP (2006) Tabela brasileira de composição de alimentos. Versão II. 2. ed., Campinas: NEPA\_UNICAMP, 113 p.
- Neto, M.M., Carolino, R.O.G., Cairasco, N.G. (2005) Aspectos da intoxicação por carambola (*Averrhoa carambola*) em pacientes com insuficiência renal crônica. Disponível em: <[http://www.todafruta.com.br/todafruta/mostra\\_conteudo.sp?conteudo=8327](http://www.todafruta.com.br/todafruta/mostra_conteudo.sp?conteudo=8327)>. Acesso em: 14/11/2006.
- O'Hare, T.J. (2001) Carambola. In: Mitra, S. (ed.) *Postharvest physiology and storage of tropical and subtropical fruits*. Wallingford: CABI Publishing, p. 295-307.
- Oliveira, M.N., Maia, G.A., Guedes, Z.B.L., Guimarães, A.C.L., Figueiredo, R.W. (1989a) Estudo das características físicas e do rendimento da carambola (*Averrhoa carambola* L.). *Ciência Agrônômica*, 20(1-2):97-99.
- Oliveira, M.N., Maia, G.A., Guedes, Z.B.L., Guimarães, A.C.L., Figueiredo, R.W. (1989b) Características químicas e físico-químicas da carambola (*Averrhoa carambola* L.). *Ciência Agrônômica*, 20(1-2):97-99.
- Piña-Rodrigues, F.C.M., Figliolia, M.B., Peixoto, M.C. Testes de qualidade. In: Ferreira, A.G., Borghetti, F. (Orgs.). *Germinação: do básico ao aplicado*. 1 ed. Porto Alegre: Artmed, 2004, v. 1, p. 283-298.
- Popinigis, F. (1985) *Fisiologia da semente*. Brasília: AGIPLA, 2ª ed. 289 p.
- Queiroz, V.A.V. (2004) Teores de Na, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu e Se, em frutas consumidas na região norte fluminense. Tese (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 73p.
- Queiroz, V.A.V. (2006) Qualidade de goiaba (*Psidium guajava* L.) submetida aos processos de desidratação por imersão-impregnação e secagem por convecção Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 123p.
- Sekiya, R.F.M., Cunha, R.J.P. (1999) Influência do método de extração e do armazenamento na germinação de sementes da caramboleira. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 21(1):57-59.
- Teixeira, G.H.A., Durigan, J.F., Donadio, L.C., Silva, J.A.A. (2001) Caracterização pós-colheita de seis cultivares de carambola (*Averrhoa carambola* L.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 23(3):546-550.

Tse, K.C., Yip, P.S., Lam, M.F., Choy, B.Y., Li, F.K., Lui, S.L., Lo, W.K., Chan, T.M., Lai, K.N. (2003) Star fruit intoxication in uraemic patients: case series and review of literature. *Internal Medicine Journal*, 33:314-316.

USDA – United States Department of Agriculture (2006a) National Agricultural Library (NAL) Catalog AGRICOLA (**AGRIC**ultural **OnLine** **Access**). Disponível em: <http://agricola.nal.usda.gov>. Acesso em: 21/11/2006.

USDA – United States Department of Agriculture (2006b) Classification for Kingdom Plantae Down to Species *Averrhoa carambola* L. Natural Resources Conservation Service – PLANTS Database. Disponível em: < <http://plants.usda.gov/index.html>>. Acesso em 14/11/2006.

von Martius, C.F.P., Eichler, A.W., Urban, I. (1877) *Flora brasiliensis – Enumeratio plantarum in Brasilia*. Vol. XII, parte II, fascículo 74, coluna 520.

Wagner, C.H.J., Bryan, W.L., Berry, R.E., Knight, R.J. (1975) Carambola selection for commercial production. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 88:466-469.