



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

ANA MARIA DE ABREU SIQUEIRA

RESFRIAMENTO RÁPIDO POR AR FORÇADO DE GOIABA cv. PALUMA:
AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICOS, FÍSICO-QUÍMICOS,
SENSORIAIS E DO PROCESSO

FORTALEZA

2009

ANA MARIA DE ABREU SIQUEIRA

RESFRIAMENTO RÁPIDO POR AR FORÇADO DE GOIABA CV. PALUMA:
AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICOS, FÍSICO-QUÍMICOS, SENSORIAIS E DO
PROCESSO

Dissertação submetida à Coordenação do curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. José Maria Correia da Costa

Co-orientador: Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso

FORTALEZA

2009

S628r Siqueira, Ana Maria de Abreu
Resfriamento rápido por ar forçado de goiaba cv. Paluma: avaliação dos parâmetros físicos, físico-químicos, sensoriais e do processo / Ana Maria de Abreu Siqueira, 2009.
133 f. ; il. color. enc.

Orientador: Prof. Dr. José Maria Correia da Costa
Co-orientador: Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso
Área de concentração: Ciência e Tecnologia de Alimentos
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias. Depto. de Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2009.

1. Resfriamento 2. Pós-colheita 3. Frutos 4. *Psidium guajava*
I. Costa, José Maria Correia (orient.) II. Afonso, Marcos Rodrigues Amorim (co-orient.) III. Universidade Federal do Ceará – Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos IV. Título

CDD 664

RESFRIAMENTO RÁPIDO POR AR FORÇADO DE GOIABA CV. PALUMA:
AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICOS, FÍSICO-QUÍMICOS, SENSORIAIS E DO
PROCESSO

Dissertação submetida à Coordenação do curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Tecnologia de Alimentos.

Ana Maria de Abreu Siqueira

Dissertação aprovada em: 06 de março de 2009.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. José Maria Correia da Costa (Orientador)

Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso (co-Orientador)

Universidade Federal do Ceará

Dr. Carlos Farley Herbster Moura

Embrapa Agroindústria Tropical

Prof^a Dra. Sueli Rodrigues

Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. Dr. Edmar Clemente

Universidade de Maringá

**Aos meus pais,
José Josileide Siqueira Dodou
Maria Eddy de Abreu Siqueira**

Que na alegria e nos momentos difíceis me dedicam
amor incondicional e força para eu sempre ter coragem
de seguir em frente.

**À minhas irmãs,
Ana Cristina, Ana Cláudia e Ana Carla de Abreu Siqueira**

Pela cumplicidade e pelos sentimentos sinceros de
amor e amizade.

Ao Marcelo Victor Lima

Por ser meu companheiro em todos os momentos, por
corresponder ao meu amor e construir sonhos de vida
comigo.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Concluo esse mestrado com a consciência de que a realização dessa etapa da minha vida tornou-se muito mais fácil devido a presença de pessoas que *Deus* colocou em meu caminho. Agradeço:

À Universidade Federal do Ceará, pela oportunidade de me fornecer formação acadêmica na graduação e no mestrado.

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) que apoiou-me financeiramente durante todo o mestrado. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa.

Aos meus orientadores: Prof. Dr. José Maria Correia da pela orientação, incentivo e voto de confiança e Prof. Dr. Marcos Rodrigues Amorim Afonso pelos ensinamentos, paciência e companheirismo. Agradeço a ambos pela contribuição para minha formação profissional.

Ao Dr. Carlos Farley Herbster Moura (Embrapa), pela presteza e participação nas bancas de pré-defesa e defesa, o qual contribuiu com sugestões importantes para o enriquecimento deste trabalho. À Profa. Dra. Sueli Rodrigues e Prof. Edmar Clemente pela participação na banca de defesa e contribuição de melhorias para o presente trabalho.

À companheira Sandra Maria Lopes, pela amizade sincera e por ter sido meu braço direito no decorrer desses dois anos, sempre disposta a contribuir no desenvolvimento desta pesquisa sem medir esforços.

À todos os professores do Departamento de Tecnologia de Alimentos (UFC), os quais foram essenciais para a minha formação profissional.

À turma 2007 do curso de pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos (UFC). Em especial às amigas: Lívia Xerez, Josefranci Farias e Ana Carolina Pereira, por serem grandes companheiras e estarem sempre à disposição com um sorriso encantador.

Com carinho à equipe do Laboratório de Controle de Qualidade e Secagem de Alimentos (UFC): Valéria, Raquel, Priscila, Josália, Tânia, Patrícia, Anderson, Paloma e Neuma, pela amizade e pelo apoio profissional.

À minha irmã e companheira de profissão Ana Cristina de Abreu por ter contribuído no desenvolvimento desta pesquisa com amizade e ajuda profissional.

Ao empreendedor João Teixeira, da Frutacor, pelo incentivo à pesquisa e concessão das caixas e frutos necessários ao experimento. Também a todos desta empresa pela simpatia e presteza.

À equipe do Laboratório de Biotecnologia (UFC) por ter disponibilizado equipamento e vidrarias necessárias durante todo o desenvolvimento da pesquisa. Ao Laboratório de Frutos Tropicais, pela disposição de espaço e vidrarias dispensadas no início do projeto.

Com carinho aos funcionários: Paulo, Hilda, Omar, Luis, Rose, Pereira, Augusto e Luciano, pela presteza e atenção dispensada.

A todos que disponibilizaram seu tempo para participar das análises sensoriais do projeto.

Ao meu tio e companheiro de profissão, Msc. Fernando Abreu, pelo grande incentivo e apoio na minha vida pessoal e acadêmica, além de servir como exemplo de profissional.

Aos meu pais, irmãs e Marcelo que me apoiaram nessa jornada, sem medir esforços, não só com afeto, mas também no desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus familiares (tios e primos), pelo apoio, compreensão e paciência pelos meus momentos de ausência. Em especial aos meus avós: João Capistrano, Francisca Einar, Antônio Dodou (*in memorian*) e Ana Leite, pelo amor e carinho. À minha segunda família (Victor Lima) pelo carinho e incentivo.

Com todo coração às minhas amigas eternas: Clécia, Gabriele, Mariana e Kênya, pois mesmo quando distantes estão ao meu lado. Pelas palavras de Lorena, Mari e Nati (e à pequena Mel). Ao amigo Neto pela amizade sincera e presteza.

A todos citados e não citados, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Devido à alta atividade metabólica dos frutos os cuidados pós-colheita são essenciais para a redução das perdas e manutenção da qualidade, sendo a temperatura um fator ambiental que afeta diretamente os processos fisiológicos destes produtos. A refrigeração atua no controle da respiração e transpiração na fase pós-colheita reduzindo a velocidade das mudanças fisiológicas, prolongando o período de comercialização do produto. O resfriamento rápido por ar forçado é uma alternativa tecnológica pós-colheita, resfriando-se os frutos no menor tempo possível após a sua colheita, a fim preservar a qualidade e prolongar a vida útil. Assim, objetivo desta pesquisa foi avaliar o resfriamento rápido por ar forçado de goiaba, analisar o processo e sua influência na vida útil deste fruto através de parâmetros físicos, físico-químicos e sensoriais. Os parâmetros avaliados foram perda de massa, firmeza, vitamina C, acidez titulável, pH, sólidos solúveis e análise sensorial. Os frutos obtidos em fazenda produtora do Estado do Ceará foram submetidos a diferentes experimentos de resfriamento rápido por ar forçado variando os parâmetros: tempo ente colheita e resfriamento rápido e área de abertura das embalagens, definidos através de planejamento experimental. Após o resfriamento rápido, os frutos foram armazenados à temperatura de $8 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e $90 \pm 3\%$ de umidade relativa. Foram realizados dois tratamentos controle, em um deles os frutos foram armazenados sob condições ambiente e, no outro, submetidos ao resfriamento lento (câmara convencional). O resfriamento rápido com ar forçado de goiaba acondicionado nas embalagens cuja área de foi de 10,98 % apresentou boa eficiência de resfriamento, exibindo o maior valor do número de Biot (2,12) e coeficiente convectivo de transferência de calor de $37,06 \text{ W/m}^2\text{C}$, e tempo de resfriamento e 66,0 minutos. As diferentes áreas de abertura para passagem do ar nas embalagens não influenciaram estatisticamente a vida útil do produto, no entanto influenciaram a eficiência do processo, pois observou-se que quanto maior a área de abertura, maior o coeficiente convectivo de transferência de calor. Segundo avaliação sensorial, as goiabas cv. Paluma submetidas ao resfriamento rápido com ar forçado apresentaram vida útil três vezes maior do que frutos armazenados sob condições ambiente. Os frutos submetidos ao resfriamento rápido com o menor tempo após a colheita apresentaram maior vida útil, obtendo notas consideradas baixas somente no 34º dia de armazenamento, sendo esta a variável que mais influencia na vida útil destes produtos.

Palavras-chave: Resfriamento, pós-colheita, frutos, *Psidium guajava*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 -	Representação da passagem do ar pelas caixas no túnel de resfriamento	39
Figura 02 -	Representação da passagem do ar pelos frutos dentro da embalagem	39
Figura 03 -	Exemplo de uma curva típica de resfriamento de produtos hortícolas	44
Figura 04 -	Localização de Limoeiro do Norte no Pólo Baixo Jaguaribe do semi-árido nordestino (FRANÇA et al, 2008)	51
Figura 05 -	Caixas plásticas para transporte de goiabas	52
Figura 06 -	Representação das aberturas laterais das caixas de papelão utilizadas para o resfriamento rápido por ar forçado: (A) 1,77%, (B) 3,19%, (C) 6,37%, (D) 9,56%, (E) 10,98%	53
Figura 07 -	Elementos que compõem o sistema de resfriamento e bancada de experimentos. Adaptado Teruel; Cortez; Neves Filho (2001)	54
Figura 08 -	Colocação dos termopares no interior (centro) da goiaba	55
Figura 09 -	Localização dos termopares no sistema de resfriamento rápido	55
Figura 10 -	Localização das medidas da velocidade do ar com o termoanemômetro de fio quente no sistema de resfriamento rápido	56
Figura 11 -	Arranjo das caixas dentro da câmara e a direção do ar por entre as mesmas	58
Figura 12 -	Representação da determinação do volume e da massa, feito por deslocamento de massa de água	59
Figura 13 -	Modo de apresentação das goiabas para a avaliação sensorial	65
Figura 14 -	Variação da temperatura durante resfriamento rápido de goiaba cv. Paluma, do experimento E09, embalado em caixa de papelão com área de abertura de 10,98% e 28 horas e 15 minutos após a colheita	71
Figura 15 -	Gráfico da vida útil predita vs. observada do resfriamento rápido de goiaba cv. Paluma	76
Figura 16 -	Superfície de resposta da vida útil (dias) em função do tempo entre colheita e resfriamento (horas) e área de abertura das embalagens (%)	77
Figura 17 -	Gráfico coeficiente convectivo de transferência de calor predito vs. observado do resfriamento rápido de goiaba cv. Paluma	78
Figura 18 -	Superfície de resposta do coeficiente convectivo de transferência de calor ($W/m^2\text{°C}$) em função do tempo entre colheita e resfriamento (horas) e área de abertura das embalagens (%)	79
Figura 19 -	Gráfico tempo de resfriamento predito vs. observado do resfriamento rápido de goiaba cv. Paluma	81
Figura 20 -	Média, desvio padrão e teste de Tukey da perda de massa (%) de goiaba cv. Paluma das onze condições de resfriamento rápido no 28º dia de armazenamento a $8 \pm 3\text{°C}$ e umidade relativa de $90 \pm 3\%$	82
Figura 21 -	Gráfico da média e desvio padrão da perda de massa (%) de goiaba cv. Paluma	83

Figura 22 -	Média, desvio padrão e teste de Tukey da firmeza (N) de goiaba cv. Paluma submetidas ao resfriamento rápido por ar forçado, do experimento E09, embalada em caixa de papelão com área de abertura de 10,98% e 28 horas e 15 minutos após a colheita	84
Figura 23 -	Gráfico da média e desvio padrão da firmeza (N) de goiaba cv. Paluma	85
Figura 24 -	Média, desvio padrão e teste de Tukey de vitamina C (mg de ácido ascórbico / 100 g) durante 28 dias de armazenamento de goiaba cv. Paluma submetida ao resfriamento rápido por ar forçado, do experimento E05, embalada em caixa de papelão com área de abertura de 6,37% e 28 h e 15 min após a colheita	86
Figura 25 -	Média, desvio padrão e teste de Tukey da acidez titulável (% ácido cítrico / 100 g) durante 28 dias de armazenamento de goiaba cv. Paluma submetida ao resfriamento rápido por ar forçado, do experimento E05, embalada em caixa de papelão com área de abertura de 6,37% e 28 h e 15 min após a colheita	88
Figura 26 -	Média, desvio padrão e teste de Tukey do pH durante 28 dias de armazenamento de goiaba cv. Paluma submetida ao resfriamento rápido por ar forçado, do experimento E05, embalada em caixa de papelão com área de abertura de 6,37% e 28 h e 15 min após a colheita	90
Figura 27 -	Média, desvio padrão e teste de Tukey de sólidos solúveis (°Brix) durante 28 dias de armazenamento de goiaba cv. Paluma submetida ao resfriamento rápido por ar forçado, do experimento E11, embalada em caixa de papelão com área de abertura de 6,37 % e 32 h e 30 min após a colheita	91
Figura 28 -	Variações na intenção de compra de goiaba cv. Paluma submetidas ao resfriamento rápido e resfriamento lento armazenadas sob condições controladas ($8 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e 90 ± 3 % de umidade relativa) e ao armazenamento sob condição ambiente (27°C)	94
Figura 29 -	Goiabas cv. Paluma armazenadas a temperatura ambiente (27°C) durante nove dias	95
Figura 30 -	Variações na aparência interna (cor da polpa) de goiaba cv. Paluma submetida ao resfriamento rápido e resfriamento lento armazenadas sob condições controladas ($8 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e 90 ± 3 % de umidade relativa) e ao armazenamento sob condição ambiente (27°C)	98
Figura 31 -	Variações na aparência externa (cor da casca) de goiaba cv. Paluma submetida ao resfriamento rápido e resfriamento lento armazenadas sob condições controladas ($8 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e 90 ± 3 % de umidade relativa) e ao armazenamento sob condição ambiente (27°C)	99
Figura 32 -	Variações no aspecto geral de goiaba cv. Paluma submetidas ao resfriamento rápido e resfriamento lento armazenadas sob condições controladas ($8 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e 90 ± 3 % de umidade relativa) e ao armazenamento sob condição ambiente (27°C)	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 -	Dados dos principais municípios produtores de goiaba do Estado do Ceará	19
Tabela 02 -	Níveis codificados das duas variáveis aplicadas no processo de resfriamento rápido por ar forçado	49
Tabela 03 -	Variáveis independentes de cada experimento de resfriamento rápido por ar forçado e descrição dos experimentos controle	50
Tabela 04 -	Dados pluviométricos da região de Limoeiro do Norte (CE), Posto Limoeiro do Norte, no ano de 2008	51
Tabela 05 -	Valores médios e desvio padrão de conteúdo de água, massa, diâmetro transversal e diâmetro longitudinal de goiaba cv. Paluma	68
Tabela 06 -	Medidas da área de abertura das embalagens, velocidade e vazão do ar e tempo de resfriamento do resfriamento rápido por ar forçado de goiaba cv. Paluma	69
Tabela 07 -	Propriedades térmicas de goiaba cv. Paluma.....	73
Tabela 08 -	Parâmetros do resfriamento rápido por ar forçado de goiaba nas diferentes condições apresentadas	74
Tabela 09 -	Resultados das variáveis resposta do resfriamento rápido por ar forçado de goiaba cv. Paluma	75
Tabela 10 -	Coeficientes de regressão, erro padrão e p-valores da variável resposta vida útil no resfriamento rápido por ar forçado de goiaba cv. Paluma	76
Tabela 11 -	Coeficientes de regressão, erro padrão e p-valores da variável resposta coeficiente convectivo de transferência de calor no resfriamento rápido por ar forçado de goiaba cv. Paluma	78
Tabela 12 -	Coeficientes de regressão, erro padrão e p-valores da variável resposta tempo de resfriamento no resfriamento rápido por ar forçado de goiaba cv. Paluma	80
Tabela 13 -	Médias e desvio padrão das notas da análise sensorial para os parâmetros aparência interna (cor da polpa), aparência externa (cor da casca), aspecto geral e intenção de compra no último dia da vida útil dos frutos	96

APÊNDICE

Apêndice 01 - Ficha de análise sensorial de goiaba	120
Apêndice 02 - Valores médios e desvio padrão da temperatura inicial e final do resfriamento rápido por ar forçado de goiaba cv. Paluma	121
Apêndice 03 - Equações exponenciais para as onze condições de resfriamento rápido aplicadas em goiaba cv. Paluma	121
Apêndice 04 - Análise de Variância para a resposta vida útil (dias)	122
Apêndice 05 - Análise de Variância para a resposta coeficiente convectivo de transferência de calor (<i>hc</i>)	122
Apêndice 06 - Análise de Variância para a resposta tempo de resfriamento	123
Apêndice 07 - Quadros de análise de variância.....	124
Apêndice 07(a) - Quadro de análise de variância da perda de massa (%) de goiabas cv. Paluma submetidas a 11 diferentes condições de resfriamento rápido com ar forçado, armazenadas por 28 dias a $8 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $90 \pm 3\%$	124
Apêndice 07(b) - Quadro de análise de variância da perda de firmeza (N) de goiabas cv. Paluma submetidas às condições de resfriamento rápido do experimento E09 ..	124
Apêndice 07(c) - Quadro de análise de variância da vitamina C (mg de ácido ascórbico / 100 g de polpa) de goiabas cv. Paluma submetidas às condições de resfriamento rápido do experimento E05	124
Apêndice 07(d) - Quadro de análise de variância da acidez titulável (% ácido cítrico / 100 g de polpa) de goiabas cv. Paluma submetidas às condições de resfriamento rápido do experimento E05	124
Apêndice 07(e) - Quadro de análise de variância do pH de goiabas cv. Paluma submetidas às condições de resfriamento rápido do experimento E05	125
Apêndice 07(f) - Quadro de análise de variância de sólidos solúveis ($^{\circ}\text{Brix}$) de goiabas cv. Paluma submetidas às condições de resfriamento rápido do experimento E11 ..	125
Apêndice 08 - Média, desvio padrão e teste de Tukey da perda de massa (%) de goiabas cv. Paluma submetidas a onze diferentes condições de resfriamento rápido por ar forçado e armazenadas durante 28 dias a $8 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e $90 \pm 3\%$ de umidade relativa	126
Apêndice 09 - Média, desvio padrão e teste de Tukey de Firmeza (N) de goiabas cv. Paluma submetidas a onze diferentes condições de resfriamento rápido por ar forçado e armazenadas durante 28 dias a $8 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e $90 \pm 3\%$ de umidade relativa	127
Apêndice 10 - Média, desvio padrão e teste de Tukey de vitamina C (mg de ácido ascórbico/100 g de polpa) de goiabas cv. Paluma submetidas a onze diferentes condições de resfriamento rápido por ar forçado e armazenadas durante 28 dias a $8 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e $90 \pm 3\%$ de umidade relativa	128
Apêndice 11 - Média, desvio padrão e teste de Tukey de acidez titulável (% ácido cítrico/100 g de polpa) de goiabas cv. Paluma submetidas a onze diferentes	

condições de resfriamento rápido por ar forçado e armazenadas durante 28 dias a $8 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e $90 \pm 3\%$ de umidade relativa	129
Apêndice 12 - Média, desvio padrão e teste de Tukey de pH de goiabas cv. Paluma submetidas a onze diferentes condições de resfriamento rápido por ar forçado e armazenadas durante 28 dias a $8 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e $90 \pm 3\%$ de umidade relativa	130
Apêndice 13 - Média, desvio padrão e teste de Tukey de sólidos solúveis ($^{\circ}\text{Brix}$) de goiabas cv. Paluma submetidas a onze diferentes condições de resfriamento rápido por ar forçado e armazenadas durante 28 dias a $8 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e $90 \pm 3\%$ de umidade relativa	131
Apêndice 14 - Média, desvio padrão e teste de Tukey dos parâmetros perda de massa, vitamina C, acidez titulável, pH, sólidos solúveis e firmeza de goiabas cv. Paluma armazenadas durante 26 dias a $8\pm 3^{\circ}\text{C}$ e $90\pm 3\%$ de umidade relativa ...	132
Apêndice 15 - Média, desvio padrão e teste de Tukey para os parâmetros perda de massa, vitamina C, acidez titulável, pH, sólidos solúveis e firmeza de goiabas cv. Paluma armazenadas durante 9 dias a 27°C	132
Apêndice 16 - Resumo das análises de variâncias com relação análise sensorial de goiaba cv. Paluma submetidas a onze condições de resfriamento rápido por ar forçado e armazenamento à $8 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $90 \pm 3\%$ durante 28 dias	133

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
APÊNCICE	x
1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 Agronegócio de goiaba	18
2.1.2 Produção mundial	18
2.1.1 Produção brasileira	18
2.2 Aspectos gerais da goiaba (<i>Psidium guajava</i> L.)	20
2.2.1 Características físicas	21
2.2.2 Características sensoriais	22
2.2.3 Composição química	23
2.2.4 Ciclo vital do fruto	25
2.2.5 Colheita e transformações pós-colheita	26
2.2.6 Armazenamento da goiaba	27
2.3 Fisiologia pós-colheita de frutos	28
2.3.1 Respiração	28
2.3.2 Produção de Etileno	30
2.3.3 Perda de água	30
2.4 Propriedades térmicas	31
2.4.1 Massa específica	32
2.4.2 Condutividade térmica	32
2.4.3 Difusividade térmica	32
2.4.4 Calor específico	33
2.4.5 Coeficiente convectivo de transferência de calor	34
2.5 Armazenamento refrigerado	35
2.6 Resfriamento rápido	36
2.7 Resfriamento rápido por ar forçado (<i>forced-air cooling</i>)	38
2.8 Modelo matemático do resfriamento de frutos	43
3 MATERIAL E MÉTODOS	49
3.1 Planejamento experimental	49
3.2 Goiabas	50
3.3 Embalagens	52

3.4 Câmaras de refrigeração	53
3.5 Sistema de resfriamento rápido por ar forçado	54
3.6 Etapas do processo	56
3.6.1 Recepção da matéria-prima	56
3.6.2 Armazenamento a temperatura ambiente	57
3.6.3 Resfriamento lento	57
3.6.4 Resfriamento rápido	57
3.7 Determinação das características físicas da goiaba	59
3.7.1 Diâmetro	59
3.7.2 Volume	59
3.7.3 Massa específica	60
3.7.4 Conteúdo de água	60
3.8 Abordagem matemática	60
3.9 Avaliação da vida útil pós-colheita	62
3.9.1 Perda de massa	62
3.9.2 Firmeza	62
3.9.3 Preparo das amostras	63
3.9.4 Acidez Titulável	63
3.9.5 Vitamina C	63
3.9.6 Sólidos Solúveis	63
3.9.7 pH	64
3.9.8 Análise sensorial	64
3.9.9 Análise estatística	65
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
4.1 Grandezas físicas	67
4.2 Resfriamento rápido por ar forçado	68
4.3 Delineamento experimental	74
4.3.1 Vida útil	75
4.3.2 Coeficiente convectivo de transferência de calor	77
4.3.3 Tempo de resfriamento	80
4.4 Avaliação da vida útil pós-colheita da goiaba	81
4.4.1 Perda de massa	81
4.4.2 Firmeza	84
4.4.3 Vitamina C	86
4.4.4 Acidez titulável	88
4.4.5 pH	89
4.4.6 Sólidos solúveis	91

4.4.7 Análise sensorial	93
5 CONCLUSÕES	101
6 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	103
REFERÊNCIAS	104
APÊNDICE	119

1 INTRODUÇÃO

Mesmo após a colheita, os frutos apresentam elevada atividade metabólica, desencadeando processos deteriorativos, sendo imprescindível o manuseio e armazenamento em condições ambientais adequadas para a inibição parcial dos principais agentes deteriorantes deste tipo de produto, tais como, crescimento e atividade microbiana, atividades metabólicas dos tecidos, perda de umidade e envelhecimento devido ao amadurecimento.

Apesar de ser o terceiro maior produtor de frutos do mundo com aproximadamente 43,7 milhões de toneladas colhidas no ano de 2007, o Brasil não se destaca no mercado mundial em relação à exportação desses produtos, pois muito do que é produzido acaba perdido devido a não utilização de tecnologias adequadas para colheita e pós-colheita. Todos os percalços fazem com que o Brasil ocupe a 15ª posição no *ranking* dos maiores exportadores, do total que é produzido, 47% é para o consumo in natura e deste percentual, apenas 2% são direcionados para exportação (AGRIANUAL, 2008). O Ceará entrou na exportação de frutos em 1999, apresentando crescente aumento nas quantidades e valores exportados, no *ranking* das exportações o Estado do Ceará é o quarto maior exportador de frutos do Nordeste e o quinto do Brasil (SABADIA, 2007). O Estado entrou para a história das exportações brasileiras de frutos em 2001, quando de passou de menos de 2% de participação para quase 6% das exportações nacionais, chegando a 10,2% em 2006 (MAGALHÃES, 2006). Segundo dados do Instituto Agropolos do Ceará (2009), em 2008 o Ceará exportou 191.646.012 kg de frutos in natura 75,3 % a mais que em 2007.

Para que o país possa se tornar um grande exportador, a fruticultura tropical brasileira tem que vencer muitos obstáculos, dentre eles destacam-se as exigências dos importadores em relação a comprovação da segurança alimentar e a adoção de boas práticas agrícolas (IBRAF, 2007).

O termo qualidade pode ser observado por vários aspectos, uma vez que pode ter diversas definições para pessoas diferentes. Em se tratando de frutos, Afonso Neto (1985) destaca a aparência externa e a qualidade intrínseca. No geral, quando o fruto é destinado ao consumo in natura, dá-se maior importância ao aspecto externo, ficando os atributos intrínsecos ao processamento industrial. Segundo Borguini, Oetterer e Silva (2003), os atributos de qualidade pós-colheita de frutos dependem do mercado ao qual se destinam: armazenamento, consumo in natura ou processamento

Segundo Chitarra e Chitarra (2005), a refrigeração é o método mais econômico para o armazenamento prolongado de frutos e hortaliças. Outros métodos, tais como modificação ou controle da atmosfera, uso de ceras na superfície do produto, entre outros, não são eficientes se não forem associados ao uso de baixas temperaturas. Dentre os diversos tipos de experimentos pós-colheita para frutos, destaca-se o resfriamento rápido (SUN; BROSNAM, 1999), o qual pode ser aplicado pelos métodos: ar-forçado, água, gelo e vácuo (ASHRAE, 2002).

A goiaba é um fruto tipicamente tropical, rica em vitamina C e que contém quantidades razoáveis de pró-vitamina A e do complexo B, além de sais minerais, como cálcio, fósforo e ferro. De modo geral, não tem muito açúcar e quase nenhuma gordura (CHOUDHURY et al., 2001).

O Brasil é um grande produtor deste fruto, condições climáticas, localização geográfica e existência de áreas irrigáveis para o plantio, fazem do Nordeste uma região adequada para a exploração da cultura da goiaba. Internacionalmente, é pouco comercializada, pois grandes potências econômicas a consideram, ainda, como um fruto exótico (CHOUDHURY et al., 2001).

Devido à alta atividade metabólica após a colheita, esses frutos senescem rapidamente, impedindo o armazenamento por períodos prolongados (CARVALHO et al., 2001; MANICA et al., 2000, RIBEIRO et al., 2005). O controle da respiração e transpiração do fruto na fase pós-colheita tem o intuito de reduzir a velocidade das mudanças fisiológicas, prolongando a vida útil do produto, ampliando, assim, o período de comercialização aos centros consumidores mais distantes (GONZAGA NETO; CRISTO; CHOUDHURY, 1999; VILA et al., 2007). Devem ser aplicadas técnicas de colheita e pós-colheita adequadas para evitar elevadas perdas na qualidade, bem como superar as barreiras de comercialização do produto para o mercado externo.

No agronegócio de goiaba, o Brasil ainda precisa vencer obstáculos, para tal é preciso implantar um atuante controle de qualidade, melhorando os processos de produção, e implantação de colheita e pós-colheita adequadas, além de divulgar o produto nos países que são considerados grandes potências econômicas.

A implantação da “Cadeia do Frio” no Brasil é uma questão de necessidade, pois o país possui um clima que requer refrigeração. O grande desafio seria oferecer uma adequada infra-estrutura, tanto nos aspectos de produção (irrigação) quanto no de adequado experimento pós-colheita, dentre eles a refrigeração, e outros tantos detalhes imprescindíveis à produção de frutos e alimentos de qualidade (TANABE; CORTEZ, 1998).

O resfriamento rápido por ar forçado é uma das alternativas tecnológicas pós-colheita para a cadeia produtiva de goiaba, resfriando-se os frutos no menor tempo possível após a sua colheita, a fim preservar a qualidade e prolongar a vida útil pós-colheita.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o resfriamento rápido por ar forçado de goiaba, analisar o processo e sua influência na vida útil deste fruto através de parâmetros físicos, físico-químicos e sensoriais, e comparar os resultados com o resfriamento lento na câmara de refrigeração, bem como armazenamento em temperatura ambiente.

Além de avaliar a cinética de resfriamento e determinar a condutividade e a difusividade térmica da goiaba e, a partir desses valores, determinar seu calor específico. Medir e quantificar os parâmetros envolvidos no processo de resfriamento rápido por ar forçado da goiaba, tais como: velocidade do ar, coeficiente convectivo de transferência de calor, área das aberturas nas embalagens, número de *Biot*, coeficiente convectivo de transferência de calor e coeficiente de resfriamento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Agronegócio de goiaba

2.1.1 Produção mundial

Não existem dados estatísticos oficiais sobre a produção mundial de goiaba, mas tem-se conhecimento que esse mercado é liderado pelo Brasil, no entanto existem outros países apontados como grandes produtores, tais como Paquistão, México e Egito, dentre outros. Mesmo sendo líder no setor, o agronegócio brasileiro de goiabas ainda é dependente do mercado nacional devido a perecibilidade pós-colheita, exigindo um controle de qualidade mais atuante, além do alto custo com acondicionamento e transporte aéreo para o mercado internacional. Os grandes centros comerciais como a União Européia e Estados Unidos consideram-na exótica, por isso é comercializada em pequena escala e a preços elevados (CHOUDHURY et al., 2001). A preferência do mercado externo deste fruto está focada para a polpa branca, em contraposição ao mercado interno onde a opção é pela polpa vermelha (SAABOR, et al.; 2001).

2.1.2 Produção brasileira

O mercado nacional de goiaba é de baixa demanda e alto índice de produção, gerando perdas significativas do produto. Mesmo sendo um fruto de destaque em relação à qualidade nutricional e possuir sabor e aroma agradáveis, o consumo é, em média, 300 g/pessoa/ano, tal fato está relacionado a uma pós-colheita fora dos padrões e às estruturas de comercialização precárias (CHOUDHURY et al., 2001).

No entanto, por ser um fruto com alto valor nutritivo e com excelente aceitação para o consumo in natura, a goiaba é um dos frutos de maior importância nas regiões subtropicais e tropicais (AGRIANUAL, 2003). No ano de 2007, o Brasil exportou um volume de 223.593 kg de goiaba para o mercado de frutos in natura, 5,62% a mais do que no ano de 2006 (AGRIANUAL, 2008). Os maiores Estados produtores do fruto no Brasil são: São Paulo, Pernambuco, Bahia, Goiás e Rio de Janeiro (AGRIANUAL, 2004).

No Ceará, goiaba as cultivares Paluma e Rica são predominantes, sendo negociadas em caixas plásticas de 17 a 22 kg (SAABOR et al., 2001). Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a quantidade produzida no Ceará foi de

6.195 toneladas no ano de 2007, cujo valor de produção foi, em média, 3.686 mil reais (IBGE, 2007). A Tabela 01 apresenta dados dos principais municípios produtores de goiaba do Estado.

Tabela 01 – Dados dos principais municípios produtores de goiaba do Estado do Ceará.

Município	Quantidade Produzida (tonelada)	Valor da Produção (mil reais)	Área Plantada (hectares)	Rendimento Médio (kg / hectares)
Russas	1.220	706	70	17.428
Jaguaruana	1.116	856	120	9.300
Cascavel	755	441	48	15.729
Limoeiro do Norte	715	448	55	13.000
Aracati	304	174	20	15.200

Fonte: IBGE (2007).

A Região de Limoeiro do Norte fica localizada no Pólo Baixo Jaguaribe que abrange uma pequena área do semi-árido do Ceará, compreendendo os municípios de Limoeiro do Norte, Morada Nova, Russas, Jaguaruana, Itaiçaba, Aracati, São João do Jaguaribe e Quixeré. São áreas aptas a uma agricultura irrigada sustentável e uso de tecnologias adequadas, baseadas na horticultura (fruticultura e olericultura) tropical, melhorando recursos de solo e água para a obtenção de altas produtividades, direcionamento das explorações e estabilidade dos empreendimentos (FRANÇA et al., 2008).

Conforme dados coletados pela Divisão Técnica e de Planejamento – DITEP – em 2008 a Central Abastecimento comercializou 20.606,9 toneladas de goiaba, deste montante apenas 1,6 % destes frutos foram do próprio Estado, os demais (98,4%) foram provenientes de Pernambuco, Bahia e São Paulo (CEASA/CE, 2009). No entanto, o Ceará tem 684 hectares de goiaba e quase toda a área plantada voltada para a produção de goiaba destinada para a indústria (MAGALHÃES, 2006).

Assim, com o intuito de fortalecer a competitividade da goiaba produzida no Ceará, o produtor deve levar em consideração a necessidade da realização de experimentos pós-colheita e a adoção de padrões de qualidade dos frutos e de embalagens que preservem a qualidade do produto por um período mais prolongado (SAABOR et al., 2001).

Vale ressaltar que o Ceará apresenta vantagens no mercado de fruticultura, tais como: três mil horas de sol por ano, menor distância até o porto de Roterdã, na Holanda;

ampla disponibilidade hídrica, clima propício para a fruticultura irrigada e um alto crescimento na balança comercial de frutos in natura do Brasil (AGRIANUAL, 2003; AGRIANUAL, 2004).

2.2 Aspectos gerais da goiaba (*Psidium guajava* L.)

A goiaba é o fruto da goiabeira, pertencente à família Mytaceae, teve origem na América Tropical e se difundiu nas regiões tropicais e subtropicais devido à sua facilidade de se desenvolver por sementes e em solos arenosos (MARANGA, 1977). Possui mais de 70 gêneros e 2.800 espécies, são plantas arbustivas ou arbóreas, de 3 a 10 metros de altura que possuem um tronco liso de 10 a 30 cm de diâmetro, e uma característica marcante do mesmo é que parte da casca do tronco destaca-se com facilidade em escamas compridas, deixando-o com um aspecto peculiar da espécie. Pertence ao gênero *Psidium* e à espécie *Psidium guajava* L., seus frutos são do tipo baga que é um tipo de fruto carnoso e com muitas sementes de 2 a 3 mm, ou mais (CHITARRA; CHITARRA, 2006; MARANGA, 1977).

Na goiabeira, a floração ocorre entre 71 e 84 dias após a poda e o aparecimento dos frutos ocorre por volta dos 90 dias. Apresenta duas safras por ano, no Brasil, o período de produção de goiaba é entre janeiro e março, com pico em fevereiro (ARGANDOÑA, 2005), no entanto, através de manejo tecnológico adequado, pode-se direcionar a época da colheita para períodos propícios comercialmente (GONZAGA NETO, 1990; HOJO et al., 2007). Assim, as podas podem ser feitas em todas as plantas do pomar ou, em talhões, permitindo obter safras sucessivas, mas é importante que após a poda haja a ocorrência de chuvas ou a irrigação (GONZAGA NETO; SOARES, 1994; IDE et al., 2001).

É importante destacar que a goiabeira produz várias floradas, portanto, apresenta frutos de tamanho e grau de maturação diferente em uma mesma planta (GONGATTI NETTO et al., 1996).

Existem diversas cultivares de goiaba para plantio, em diferentes formatos e pesos, coloração da casca e da polpa, quantidades de semente e porte da planta (PEREIRA, 1995). Alguns que podem ser encontrados no mercado são: IAC-4, White Selection, Red Selection, Branca de Valinhos, Verde Pirassununga, Patilho, Ruby, Ruby Supreme, Guanabara, Suprema e Pink (LOPES, 2006). Mas podemos destacar como as mais utilizadas para plantio as cultivares Paluma, Rica, Ogawa, Pedro Sato e Kumagai.

A goiaba cv. Paluma é uma das mais cultivadas, possui características de qualidade que a faz ser bem aceita tanto para o mercado de fruto in natura como para o processamento (CARDOSO, 2005). Segundo Cavalini (2004), essa cultivar é um clone derivado da Rubi-Supreme, a partir de sementes de polinização aberta.

2.2.1 Características físicas

Os frutos da goiabeira podem ter formato ovóide, arredondado ou piriforme. Em frutos maduros, o peso varia de 30 a 500 g, o comprimento de 4 a 10 cm e o diâmetro de 4 a 8 cm (CHITARRA; CHITARRA, 2006). Os frutos com massa superior a 200 g são classificados como excelentes, entre 100 e 199 g, como bons e abaixo de 100 g como ruins (CHOUDHURY et al., 2001). A massa média do fruto é uma característica importante, levando-se em consideração que, em geral, os frutos de maior massa são também os de maior tamanho e mais atrativos para o consumidor (LIMA; ASSIS; GONZAGA NETTO, 2002).

Uma característica importante para o consumidor é a cor da polpa, sendo considerado o atributo primário de qualidade, o aspecto visual tem influência na intenção de compra. A polpa da goiaba é constituída pelo mesocarpo e pela placenta carnosa, contendo número variado de sementes de cor amarelo-pálida (GONGATTI NETTO, et al., 1996). Segundo Choudhury et al. (2001), a coloração da polpa pode apresentar-se branca, creme, amarela, rosada, vermelha ou salmão, mas no geral, varia de branca a vermelha.

A casca é uma película fina e delicada, com a cor variando do verde pálido ao amarelo, dependendo da maturação, o fino epicarpo possui coloração amarela quando o fruto está maduro. O mercado exige que a coloração da casca seja uniforme e isenta de manchas decorrentes do ataque de insetos, microrganismos ou lesões, assim o manuseio deve ser cuidadoso e feito por trabalhadores treinados (GONGATTI NETTO et al., 1996). Para o consumo in natura, é preferível o fruto grande, de polpa vermelha e espessa, casca rugosa e de coloração verde a verde-amarelada (CHOUDHURY et al., 2001; LIMA, 2005).

Os frutos da cultivar Paluma são grandes e piriformes, podendo pesar até 500 g, quando raleados e em plantas jovens. Apresentam casca lisa com coloração amarela ao atingir a maturidade, sua polpa é espessa, de cor vermelha intensa e com poucas sementes (PEREIRA, 2005). Conforme Cavalini (2004), esse cultivar apresenta pequena percentagem de sementes com rendimento de polpa de 93,76%.

A firmeza é um dos atributos mais relevantes da qualidade, pois além de definir a qualidade do fruto para o consumo in natura e para o processamento, contribui para a vida útil, auxiliando na resistência ao transporte e ao ataque de microrganismos (CARVALHO et

al., 2001; GONGATTI NETTO et al., 1996). Segundo Awad (1993), a firmeza é influenciada pelo estágio de maturação, condições climáticas durante o período de colheita e cultivar.

Um das principais transformações que ocorre durante o amadurecimento de frutos é o amaciamento dos tecidos, o qual influencia tanto na qualidade como no período de conservação. Na goiaba, assim como na maioria dos frutos, a firmeza está intimamente ligada à estrutura celular e à composição pectínica (TORREGGIANI; BERTOLO, 2001), podendo variar conforme a intensidade do processo e grau de maturação do fruto. A diminuição deste parâmetro, com conseqüente amaciamento, durante o amadurecimento tem sido atribuída a modificações e degradação dos componentes da parede celular (CARVALHO et al., 2001; LINHARES et al., 2007), causadas pela atividade de hidrolases, tais como a pectinametilesterase e a poligalacturonase (VILAS BOAS; REIS; MELO, 2009). A protopectina, ligação da pectina com cálcio, predomina nos tecidos vegetais imaturos, com o amadurecimento dos frutos ocorre a liberação do cálcio e pectina, ocasionando o amaciamento dos tecidos em decorrência da redução da força de coesão entre as células. Além disso, a decomposição de outros componentes das paredes celulares, tais como celulose e hemicelulose, bem como a hidrólise do amido e o grau de hidratação dos tecidos influenciam no processo de amaciamento dos frutos (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Tal aspecto pode ser medido com o auxílio de equipamentos como, penetrômetro, maturômetro, texturômetro ou prensas hidráulicas, através da obtenção de dados sobre a resistência e consistência do tecido por meio da compressão do produto. A medida obtida equivale à força necessária para vencer a resistência dos tecidos da polpa (DÚSSAN-SARRIA, 2003).

A perda de massa dos frutos tem grande importância na qualidade comercial dos produtos hortícolas, pois influencia nas perdas quantitativas diretas, como a perda de massa vendável, na aparência, como o murchamento, na qualidade da textura e na composição química (PINTO, 2005). A perda de massa ocorre devido a evaporação da água, alterações de origem biológica ou, ainda, liberação de dióxido de carbono e pode ser retardada reduzindo-se a taxa de transpiração, através de técnicas pós-colheita como o aumento da umidade relativa do ar, diminuição da temperatura, redução do movimento do ar e uso de embalagens protetoras (CARMO, 2004).

2.2.2 Características sensoriais

Além da aparência, descrita anteriormente, as características sensoriais de extrema importância são a textura, o sabor e o aroma, sendo os dois últimos resultantes da interação

entre os ácidos orgânicos e açúcares, além da presença de compostos voláteis. Os principais açúcares encontrados na goiaba são os açúcares redutores frutose e glicose; e o açúcar não-redutor sacarose. Destes três açúcares, a frutose é o mais doce, correspondendo a cerca de 60% dos açúcares totais e a glicose e sacarose correspondem a 35% e 5%, respectivamente; a proporção desses açúcares é o fator responsável pela doçura do fruto (CAMPBELL, 2005; CHOUDHURY et al., 2001; COULTATE, 2004; GONGATTI NETTO et al., 1996).

A aparência física está relacionada com a textura, que à sua vez, é condição de firmeza. Conforme Chitarra e Chitarra (2005), a textura é o conjunto de propriedades do alimento, compostas por características físicas perceptíveis pelo tato e que se relacionam com a deformação, desintegração e fluxo do alimento, sob aplicação de uma força. Tais características são avaliadas objetivamente por funções de força, tempo e deformação.

Tratando-se de frutos e hortaliças a qualidade é determinada pelos consumidores quase que exclusivamente pela aparência. Embora o fruto íntegro nem sempre apresente melhor sabor e aroma, a boa aparência externa é fator relevante, pois, por associação, o consumidor recebe a impressão de qualidade, tomando a decisão de adquirir o produto (MACHADO, 2003).

2.2.3 Composição química

Em frutos, a acidez é atribuída, principalmente aos ácidos orgânicos dissolvidos nos vacúolos das células, tanto na forma livre, como na forma combinada com sais, ésteres, glicosídeos, etc. (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Em geral, o sabor ácido está associado, principalmente ao íon hidrogênio e ao grau de dissociação. Ácidos fortes, completamente dissociados, apresentam maior acidez do que soluções de um ácido fraco de normalidade equivalente (LIMA; ASSIS; GONZAGA NETO, 2002). Acidez titulável é a quantidade de ácido de uma amostra que reage com uma base de concentração conhecida (CECCHI, 1999). A acidez dos frutos deve-se, principalmente, aos ácidos cítrico, málico e tartárico. Em frutos maduros de goiaba, os açúcares totais podem variar de 4,0 % a 9,0 % e a acidez titulável de 0,2 % a 1,0 % em ácido cítrico.

Os sólidos solúveis, representados por açúcares, ácidos, aminoácidos, vitaminas e pectinas são constituintes importantes na caracterização da qualidade da goiaba, alto teor deste parâmetro são desejáveis, tanto para o consumo in natura como para processamento industrial (LIMA, 2005). Sua concentração aumenta com a perda de massa, pois a mesma ocasiona a concentração de açúcares (CHITARRA; CHITARRA, 2005; RIBEIRO et al., 2005). Na goiaba, o teor de sólidos solúveis é representado por cerca de 51 % a 91 % dos

açúcares; visto que o principal açúcar é a frutose, esse teor está sob influência de fatores que afetam a síntese da frutose (AZZOLINI; JACOMINO; BRON, 2004; CHITARRA; CHITARRA; CARVALHO, 1981). Lima, Assis e Gonzaga Neto (2002), encontraram para diferentes cultivares de goiabeira teor de sólidos solúveis variando de 7,2 a 10,9 °Brix.

A relação entre os sólidos solúveis e a acidez titulável é um índice de qualidade da goiaba, em conjunto com outros parâmetros, à medida que os frutos amadurecem os teores de açúcares aumentam e os de ácidos orgânicos diminuem, assim, a relação aumenta com o amadurecimento (GONGATTI NETTO et al., 1996). Uma importante parte do gosto apresentado por muitos frutos é a mistura das notas atribuídas ao sabor doce e ácido e as características sólidos solúveis e acidez titulável, isoladamente, podem representar um falso indicativo do sabor dos frutos (LIMA; ASSIS; GONZAGA NETO, 2002).

Em goiabas, assim como a maioria dos frutos, o teor de ácidos orgânicos diminui com o amadurecimento, devido aos mesmos serem utilizados pelo ciclo de Krebs durante a produção de energia e, como consequência das alterações na acidez titulável, o pH é concomitantemente modificado (LIMA, 2002). O pH é o potencial de hidrogênio livre em uma solução e as soluções com baixo pH são consideradas ácidas (COULTADE, 2004).

A goiaba destaca-se por suas excelentes qualidades nutricionais. É um fruto rico em zinco, fibras, niacina, vitamina e licopeno, além de conter teores considerados elevados de selênio, cobre, fósforo, magnésio, cálcio, ferro, ácido fólico e de vitaminas A e do complexo B (CHOUDHURY et al., 2001).

As goiabas possuem quantidade significativa de vitamina C e as concentrações aumentam durante a etapa de maturação e, após, diminuem gradativamente. O aumento inicial é relacionado à maior síntese de intermediários metabólicos percussores deste composto, e que sua posterior redução se dá à oxidação dos ácidos orgânicos durante o amadurecimento (AZZOLINI; JACOMINO; BRON, 2004; MANICA et al., 2000). Moraes, (2007) afirma que a goiaba apresenta quatro vezes mais vitamina C do que a laranja, no entanto sabe-se que esses valores podem variar sob diferentes fatores e, segundo Carvalho (1994) o teor de vitamina C varia de 55 a 1.044 mg / 100 g, de acordo com a cultivar, local e manejo. Pereira (2009) avaliou o teor deste composto em laranja e encontrou valores de $34,10 \pm 2,38$ mg / 100g e $46,36 \pm 2,36$ mg / 100 g.

Choudhury et al. (2001) afirmam que o teor de vitamina C depende da cultivar, época do ano, localização do pomar e estágio de maturação; e que os maiores teores são cerca de 337 mg / 100 g, encontrados nos frutos “de vez” e na região próxima à casca, pois o conteúdo vai de fora para dentro do fruto, sendo assim, a casca é mais rica em relação a este

nutriente do que a polpa interna. Durante o amadurecimento, ocorre a oxidação dos ácidos e conseqüente redução do teor de vitamina C, indicando a senescência do fruto (AZZOLINI; JACOMINO; BRON, 2004).

O tipo de experimento pós-colheita aplicado no fruto influencia nos teores de vitamina C, pois esta vitamina é hidrossolúvel, apresenta pouca estabilidade e está sujeita à degradação pelo oxigênio, luz, pH, açúcares e aminoácidos livres (BRUNINI, OLIVEIRA; VARANDA, 2003). Por ser instável, as perdas por processamento e armazenamento podem ocorrer de diferentes formas. A principal forma de degradação do ácido ascórbico é a presença do ar, ocasionando na formação da sua forma oxidada, o ácido dehidro-L-ascórbico (ADHA), menos estável. Uma vez formado, o ADHA participa rapidamente de uma reação irreversível de abertura do anel para formar ácido 2,3-diceto-L-gulônico, o qual não apresenta atividade vitamínica (COULTATE, 2004).

Segundo Jacomino et al. (2008), a biossíntese de vitamina C em vegetais ainda é um processo não completamente entendido, o teor de ácido ascórbico diminui durante o amadurecimento em alguns frutos, no entanto aumenta em outros, reduzindo-se somente na senescência. Os autores citam que o aumento provavelmente está relacionado à liberação de açúcares precursores da biossíntese do ácido ascórbico durante o processo de degradação da parede celular, enquanto a redução está relacionada à oxidação do ácido que podem ter sido ocasionados por danos mecânicos, apodrecimento e senescência.

A composição química dos frutos pode variar devido a diversos fatores, dentre eles podemos destacar a cultivar, fertilidade do solo, época do ano, grau de maturação, porção do fruto, condições climáticas e nutrição da planta (BRASIL, 1993; OLIVEIRA, 1996).

2.2.4 Ciclo vital do fruto

Após a germinação, o ciclo vital dos vegetais é composto das fases de crescimento, maturação e senescência, os quais correspondem ao encadeamento de processos fisiológicos e bioquímicos, até chegar à morte celular.

O crescimento é marcado pelo aumento da célula, através do alongamento da superfície das paredes celulares, além da biossíntese de novos constituintes do protoplasma (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Há o rápido incremento do peso com o desenvolvimento do diâmetro até o fruto atingir o tamanho final (AZZOLINI, 2002).

Durante a maturação, o fruto passa por mudanças bioquímicas, fisiológicas e estruturais, os sabores e odores específicos se desenvolvem em conjunto com o aumento da doçura, amaciamento do fruto e mudança na coloração; a clorofila decresce nos cloroplastos,

ao passo que os pigmentos carotenóides e antocianinas se desenvolvem. Portanto essa fase corresponde basicamente às mudanças sensoriais de sabor, odor, cor e firmeza, o que torna o fruto apto para consumo. Após a maturação não há mais crescimento do fruto. Normalmente os frutos são colhidos neste estágio, os quais continuam seu metabolismo utilizando os substratos acumulados. O amadurecimento representa a fase final da maturação onde dá-se o início dos processos degradativos. Importante lembrar que nesta fase a taxa respiratória e a produção de etileno são bastante elevadas (CHITARRA; CHITARRA, 2005; JACOMINO, et al., 2008).

Após o amadurecimento inicia-se a senescência, que é o período em que se verifica redução na estabilidade estrutural, as reações catabólicas (degradação) sobrepõem as anabólicas (síntese), causando envelhecimento e morte dos tecidos. Tal fase é um processo irreversível, no entanto pode ser retardada com o uso de tecnologias e/ou métodos adequados (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

2.2.5 Colheita e transformações pós-colheita

O estágio de maturação da colheita é um fator relevante para a manutenção da qualidade do fruto, além de ser determinante da composição química e do valor nutricional. Quando colhidos imaturos os frutos apresentam alto índice de perda de água, sendo mais sujeitos ao enrugamento e suscetíveis às desordens fisiológicas; além disso, apresentam sabor e aroma inferior quando amadurecem. Quando colhidos muito maduros, entram rapidamente em senescência, tornando-se muito macios, farináceos e com sabor insípido logo após a colheita (AZZOLINI; JACOMINO; SPOTO, 2004; MANICA et al., 2000).

Quando as goiabas são destinadas a mercados distantes da área de produção, os frutos devem ser colhidos no estágio “verde-claro” e com polpa firme. Se o destino for o consumo in natura em mercado próximo ao local onde é produzido, a colheita deve ser efetuada quando os frutos estiverem firmes, com coloração verde, mudando para mate, com base ligeiramente amarela (CHOUDHURY et al., 2001).

Durante o amadurecimento dos frutos ocorrem transformações resultantes de processos de degradação e síntese. É importante entender tais mudanças metabólicas para que se sejam aplicadas técnicas pós-colheita adequadas para a manutenção da vida útil. Segundo Gongatti Netto et al. (1996), as principais transformações químicas que ocorrem no amadurecimento da goiaba são: aumento do teor de sólidos solúveis e da doçura, devido ao aumento da concentração de frutose, glicose e sacarose; avanço do teor de vitamina C; decréscimo no teor de clorofila, ao passo que aumenta os teores de carotenóides e

antocianinas; solubilização das pectinas, com conseqüente diminuição da firmeza do fruto; redução dos teores dos ácidos orgânicos: málico, cítrico e tartárico.

A goiaba é um fruto climatérico, apresentando clara transição entre o crescimento e a senescência, caracterizada pela elevação da taxa respiratória e da biossíntese de etileno (RIBEIRO et al., 2005). Devido ao padrão climatérico desses frutos, no período pós-colheita, senescem rapidamente, impedindo seu armazenamento prolongado, sendo imprescindível controlar a respiração e transpiração do fruto na fase pós-colheita (GONZAGA NETTO; CRISTO; CHOUDHURY, 1999).

2.2.6 Armazenamento de goiaba

Devido a alta atividade metabólica após a colheita, devem ter cuidados especiais desde a pré-colheita. Segundo Vieira et al. (2008), os efeitos dos processos fisiológicos são agravados pelas condições às quais os frutos são submetidos durante e após a colheita, tornando sua comercialização limitada.

Segundo Bron et al. (2005), a taxa respiratória e o amadurecimento comportam-se em resposta a diferentes temperaturas, tipo de estocagem e condições de comercialização, tais fatores podem ser otimizados para reduzir as perdas.

Ribeiro et al. (2005) afirmam que goiabas perdem menos massa quando armazenadas sob refrigeração, à temperatura e umidade relativa ideais, do que quando armazenadas a temperatura ambiente. Após a colheita as células do tecido vegetal ficam em contato com a atmosfera rica em O₂ e tem sua atividade respiratória aumentada, fazendo com que os frutos produzam energia na forma de calor (calor vital), quanto mais rápido o fruto respira, maior é a quantidade de calor vital gerado e mais rápido ele chegará à sua senescência (CHITARRA; CHITARRA, 2005; GONGATTI NETTO et al., 1996).

Durante o armazenamento refrigerado, os fatores que devem ser controlados são: temperatura, circulação de ar e umidade relativa, sendo a temperatura o fator mais crítico, pois além de afetar a taxa de deterioração do produto, pode modificar o efeito de todos os outros fatores (GONGATTI NETTO et al., 1996).

Conforme Gongatti Netto et al. (1996), o período de conservação da goiaba sob refrigeração com umidade relativa entre 85 - 90% é de 21 dias a 8°C, 14 dias a 10°C e 10 dias a 12°C. Os autores citam que a 5°C esse período é menos de 10 dias, isso se deve aos danos causados pelo frio, como explicado por Choudhury et al. (2001). Estes mesmos autores afirmam que as condições ideais de armazenamento de goiaba encontram-se em temperatura entre 8°C a 10°C e umidade relativa de 85% a 90%.

Entretanto, Bron et al. (2005) afirmam que estudos são necessários para definir a temperatura ótima de refrigeração de goiaba, que provavelmente varia de acordo com o estágio de maturação, cultivar e tempo de estocagem. No entanto o período de conservação é variável com a fase de maturação à colheita e com a cultivar. Os frutos no pico climatérico, no qual há uma elevação da taxa respiratória, são particularmente sensíveis ao resfriamento devido às rápidas transformações bioquímicas que ocorrem nos tecidos (GONGATTI NETTO et al., 1996).

2.3 Fisiologia pós-colheita de frutos

2.3.1 Respiração

Quanto ao padrão de atividade respiratória durante o amadurecimento, os frutos são divididos em duas classes: os climatéricos e os não-climatéricos. Sendo considerados climatéricos aqueles que apresentam aumento na atividade respiratória durante o amadurecimento, ao passo que os frutos não-climatéricos são aqueles que não apresentam aumento na atividade respiratória nesta fase (AZZOLINI, 2002; CHITARRA; CHITARRA, 2005). Geralmente os frutos climatéricos são colhidos ainda verdes, para facilitar o manuseio e aumentar sua vida útil pós-colheita (JACOMINO et al., 2008).

O principal fenômeno fisiológico que influencia a conservação e qualidade dos frutos e hortaliças é a respiração, a mesma é responsável pela fonte de produção de energia requerida para a realização dos processos metabólicos após a colheita (JACOMINO et al., 2008; PINTO, 2005).

A energia liberada pela respiração é resultado da transformação de substâncias presentes no tecido vegetal que, por sua vez, estão ligadas à vida pós-colheita desses tipos de produtos. Em resumo, a respiração consiste da quebra de reservas metabólicas, produzidas pela própria planta na fase pré-colheita, por meio do processo de oxidação, para a liberação de energia e síntese de novas substâncias, podendo ser representada pela equação (CORTEZ, et al., 2002):



A oxidação das substâncias orgânicas ocorre nas mitocôndrias em três etapas distintas em diferentes vias metabólicas: hidrólise de polissacarídeos de reserva, com a produção de açúcares simples; oxidação dos açúcares simples a ácido pirúvico (glicólise); e transformação aeróbica do ácido pirúvico em outros ácidos orgânicos, com liberação de dióxido de carbono, água e energia – ciclo de Krebs ou dos ácidos tricarbóxílicos (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

A principal função do processo respiratório é suprir a energia química aos tecidos na forma de trifosfato adenosina (ATP), a partir do difosfato adenosina (ADP) e fosfato inorgânico (Pi), com liberação de CO₂ e H₂O (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

No processo respiratório o O₂ do ar é consumido, com conseqüente liberação de CO₂, caracterizando uma respiração aeróbia. Para cada grama de CO₂ são produzidas 2,55 kcal de energia. Segundo Cortez et al. (2002), medindo-se o consumo de O₂ ou liberação de CO₂ é que se caracterizam os dois grupos de produtos. Os climatéricos, que são os que apresentam grande variação na taxa respiratória durante a maturação, com aumento da produção de etileno, sendo a melhor qualidade para consumo do fruto in natura atingida na proximidade do pico climatérico. Os não-climatéricos apresentam maturação lenta e variação pouco significativa na taxa respiratória, quando comparada com climatéricos (AWAD, 1993).

Azzolini et al. (2005) avaliaram o comportamento de goiabas da cultivar Pedro Sato durante o armazenamento a temperatura ambiente, e observaram que frutos em todos os estádios de maturação mostraram aumento gradual na taxa respiratória e produção de etileno, permitindo classificar essa cultivar como um fruto climatérico. Estudos confirmam que cultivares de *Psidium guajava* L. e *Psidium cattleianum* L., no estágio de plena maturação, apresentaram atividade climatérica (AZZOLINI, 2002).

Todos os processos biológicos, destacando-se a respiração, são ativados com a elevação da temperatura; tal fato afeta a velocidade da reação dos processos metabólicos, interferindo no tempo de armazenamento dos frutos (GONZAGA NETTO; CRISTO; CHOUDHURY, 1999).

A respiração é o processo relacionado com a oxidação predominante de substâncias orgânicas nas mitocôndrias e com sistemas enzimáticos das células. As mudanças que ocorrem nos frutos no período pós-colheita estão direta ou indiretamente relacionadas com as atividades oxidativas e fermentativas, as quais são designadas como oxidações biológicas (ROSA; FARIA; AMANTE, 1999).

A taxa respiratória é um indicador da atividade metabólica do tecido vegetal e, portanto um excelente indicador no potencial de armazenagem dos frutos, por isso o princípio

básico do sistema de refrigeração é o controle da respiração dos produtos (CHITARRA e CHITARRA, 2005). Em condições não controladas a respiração leva a rápida senescência dos tecidos vegetais tornando-os susceptíveis ao ataque de microrganismos e à perda de água. Assim, o controle da taxa respiratória é condição essencial para a conservação da qualidade dos produtos perecíveis (DÚSSAN SARRIA, 2003).

Cerca de 40% da energia gerada pela respiração é retida pelas células na forma química (ATP) para ser utilizada pelo tecido vegetal nos processos vitais, os outros 60% são perdidos na forma de calor vital (CHITARRA; CHITARRA, 2005; CORTEZ et al., 2002).

As taxas respiratórias dependem de fatores relacionados ao próprio produto, tais como espécie, maturidade, período de colheita; e de fatores externos como danos mecânicos e, principalmente, a sua temperatura (GEESON, 1989; VIGNEAULT; GOYETTE, 1994). A redução da temperatura dos frutos pós-colhidos produz uma redução em suas taxas respiratórias (KADER, 1992; AWAD, 1993).

A goiaba libera entre 4.568 a 6.488 kcal / t / 24h na temperatura ambiente de 25°C, sendo reduzido para valores entre 1.774 e 1.940 kcal / t / 24h, quando o fruto atinge temperatura entre 8° a 12°C, por esta razão o fruto deve ser colhido, removido do campo o mais rápido possível e submetido ao resfriamento rápido (GONGATTI NETTO et al., 1996).

2.3.2 Produção de Etileno

O etileno é o hormônio do amadurecimento e o aumento na sua biossíntese até concentrações que estimulem o processo é o evento que marca a transição das fases de desenvolvimento do fruto: crescimento, amadurecimento e senescência (CHITARRA; CHITARRA, 2005). A produção do etileno é estimulada por danos mecânicos, distúrbios fisiológicos, doenças, estresse hídrico, processo de amadurecimento e temperaturas elevadas, sendo este último fator de extrema importância quando se trata na conservação de frutos por refrigeração (CORTEZ et al., 2002).

2.3.3 Perda de Água

Quando ainda na planta mãe, o vegetal se mantém com aparência fresca e saudável devido ao bombeamento de água do solo pelas raízes, o qual é integrado ao sistema de distribuição, e as folhas regulam o sistema pela evapotranspiração, o que contribui para reduzir a temperatura da superfície das folhas e frutos, mantendo sua turgidez. O turgor de um órgão preso à planta é resultante do equilíbrio entre sua propensão a perder água por transpiração e o poder de drenar água para as células (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Quando o vegetal é colhido, o equilíbrio de transpiração e drenagem de água é rompido, ocasionando um *déficit* hídrico, com conseqüente perda gradual da turgidez dos tecidos, reduzindo a qualidade do produto. Se a perda de turgor chegar ao limite, que é específico para cada vegetal, a degradação é irreversível.

Por conterem elevado teor de água, os frutos estão sujeitas às injúrias mecânicas, ataques microbiológicos e variações de temperatura e umidade do ambiente onde se encontram (CORTEZ et al., 2002). Os hortícolas perdem água para o ambiente constantemente; quando pós-colhidos, a água não mais pode ser repostada pela planta (exceto flores e alguns produtos folhosos) gerando perda de massa e alguns defeitos visíveis como a perda de turgor das células (KADER, 1992). Para minimizar a perda d'água devem-se controlar as temperaturas do produto e do ar do ambiente de armazenamento, bem como a pressão de vapor e a umidade relativa (ANTONIALI, 2000).

2.4 Propriedades Térmicas

As propriedades térmicas dos produtos hortícolas resumem-se à sua habilidade de transferir calor, sendo essenciais na análise da transferência de calor que ocorre em processos térmicos tais como refrigeração, congelamento e aquecimento, bem como otimização do desempenho de equipamentos de transferência de calor; sendo o conhecimento destas propriedades essencial para o desenvolvimento da ciência de alimentos e agrícola (CASTRO, 2004; NUNES et al., 2002).

A condutividade térmica, difusividade térmica e calor específico de frutos in natura, são propriedades térmicas importantes para que se tenha um conhecimento adequado das necessidades e condições de operação de equipamentos de resfriamento. A temperatura e as propriedades do produto estão estritamente ligadas ao processo de resfriamento e o efeito destas influencia na precisão dos resultados (DÚSSAN SARRIA; HONÓRIO, 2005).

As propriedades do meio de resfriamento são muito importantes, seja ar, água ou outro, destacando-se a condutividade térmica e o calor específico, as quais têm sido determinadas experimentalmente. Por outro lado, propriedades de transporte são também de grande relevância no desenvolvimento de cálculos de transferência de calor (TERUEL, 2000).

2.4.1 Massa específica

A massa específica ou densidade (ρ) pode ser definida pela relação entre a massa (m) e o volume (v) ocupado por um material biológico, podendo ser dada em kg/m^3 . Há três tipos de densidade: a granel, a qual equivale à massa individual de cada produto acondicionado em embalagem em um determinado volume total incluindo o espaço poroso dentro da embalagem; densidade aparente, que corresponde à massa total do produto dividida pelo seu volume total considerando também a porosidade; e a densidade real, obtida pelo quociente entre a massa e o volume totais do produto sem incluir o espaço poroso (MOHSEIN, 1980 citado por CASTRO, 2004).

2.4.2 Condutividade térmica

A transmissão de calor é a condução de energia de uma região para outra, como resultado de uma diferença de temperaturas entre elas, uma forma de transmissão é por condução. A condução de calor é a transferência de calor associada com o movimento de partículas da substância sem considerável deslocamento ou fluxo dessas partículas. A forma de como transferir o calor depende de um coeficiente conhecido como condutividade térmica. O mesmo refere-se à quantidade de calor (fluxo) na unidade de tempo através de uma espessura e área, ambas unitárias, com um diferencial de temperatura entre as faces (DÚSSAN SARRIA, 2003). A condutividade térmica apresenta uma relação com o conteúdo de água, a mesma aumenta com o aumento do conteúdo de água (NUNES et al., 2002).

Para frutos e hortaliças, a equação (1) relaciona a condutividade térmica (κ), expressa em $\text{W/m}^\circ\text{C}$, em função do conteúdo de água (U) do produto expresso em percentagem em base úmida (SWEAT, 1974 citado por DÚSSAN SARRIA, 2003).

$$\kappa = 0,00493 U + 0,148 \quad (1)$$

2.4.3 Difusividade térmica

A difusividade térmica indica como um calor se difunde através de um material, sendo uma variável mais importante para o controle térmico do que a condutividade, pois expressa quão rapidamente um corpo se ajusta por inteiro à temperatura de seu entorno. A determinação dessa propriedade é de grande importância para os produtos agro-alimentares por ser indispensável para a predição de processos de transferência de calor, tal como resfriamento (VENÂNCIO et al., 2006). Segundo Nunes et al. (2002), essa propriedade é afetada pela temperatura, composição, conteúdo de água, homogeneidade e estrutura física do

material e é o valor deste que determina com que velocidade o calor se propaga e como ele se difunde através do material.

Quando o conteúdo de água é maior do que 30%, a difusividade aumenta linearmente com o aumento do conteúdo de água, devido ao aumento linear da condutividade térmica (NUNES et al., 2002). Conforme verificado por Riedel (1969), a difusividade térmica de alimentos com conteúdo de água maior que 40%, como é o caso da goiaba, é fortemente dependente do conteúdo de água (U). Tal propriedade é definida matematicamente pela equação (2):

$$\alpha = 0,088 \times 10^{-6} + [(\alpha_w - 0,088 \times 10^{-6}) \times U / 100] \quad (2)$$

Onde, α é dada em m^2/s e α_w é a difusividade térmica da água à temperatura do produto, para $20^\circ C$ pode-se assumir como $0,148 \times 10^{-6} m^2/s$, segundo Ashrae (1993).

A difusividade térmica está associada à difusão de calor dentro do produto durante as mudanças da temperatura com o tempo, portanto, um elevado valor da difusividade térmica significa uma rápida transferência do calor dentro do produto e pouco tempo para o calor sair do corpo (DÚSSAN SARRIA; HONÓRIO, 2004).

2.4.4 Calor específico

O calor específico corresponde à energia necessária para alterar a temperatura da massa unitária do produto em um grau, baseada estritamente na quantidade de energia requerida e não na taxa em que ocorre essa mudança de temperatura (FONTANA et al., 1999). Segundo Ashrae (1993), o calor específico é diretamente proporcional ao conteúdo de água em frutos e hortaliças, como pode ser observado na equação (3) de Siebel para o cálculo do calor específico (C_p) dos materiais com base no conteúdo de água (U):

$$C_p = 0,0335 U + 0,837 (> 0^\circ C) \quad (3)$$

Onde o C_p é expresso em $kJ / kg \ ^\circ C$ e U expresso em %.

Em materiais sólidos de origem vegetal, as propriedades térmicas, tais como condutividade térmica, a difusividade térmica e o calor específico, são funções do tipo, temperatura e conteúdo de água do material. Em frutos e hortaliças in natura com alto

conteúdo de água, os valores da condutividade térmica, difusividade térmica e calor específico são influenciados fortemente pelo conteúdo de água. Nos produtos de origem vegetal a condutividade térmica é muito mais dependente da estrutura celular, massa específica e conteúdo de água que do efeito da temperatura.

2.4.5 Coeficiente convectivo de transferência de calor

O coeficiente convectivo de transferência de calor é a taxa de transferência de calor para cada grau de diferença de temperatura através da interface sólido-fluido por unidade de área da superfície do material sólido (CASTRO, 2004).

O coeficiente superficial de transferência de calor (h_c) não é uma propriedade térmica dos alimentos, mas é necessário para projetar equipamentos para alimentos onde se envolve a transferência de calor por convecção, bem como para validar os resultados gerados, via simulação numérica do processo de resfriamento rápido com ar forçado (ASHRAE, 1993; PIROZZI; AMENDOLA, 2005). O resfriamento com ar forçado de produtos hortícolas depende da velocidade de ar e das condições termodinâmicas do ar circundante, os quais influenciam diretamente o coeficiente convectivo de transferência de calor (ASHRAE, 1993). O tipo de embalagem, dimensões, área de abertura e o tipo de arranjo das mesmas no resfriamento também influenciam nos valores deste parâmetro (DÚSSAN-SARRIA, 2003; THOMPSON et al., 1998). Além das características dos frutos, tais como temperatura, teor de água, calor específico e forma geométrica (THOMPSON et al., 1998).

Chau (2001) ressalta a importância da determinação experimental dos valores da condutividade e da difusividade térmica para o cálculo do coeficiente convectivo de transferência de calor e taxa de resfriamento durante o processo de resfriamento de produtos hortícolas.

O coeficiente convectivo de transferência de calor ($W/m^2\text{°C}$) e pode ser obtido através da equação 4 (DINCER, 1995), onde R é o raio médio dos frutos (m), a refere-se ao coeficiente de resfriamento (s^{-1}) e α é a difusividade térmica (m^2/s).

$$h_c = (3,2 \cdot \kappa \cdot R \cdot a) / (10,3 \cdot \alpha - a \cdot R^2) \quad (4)$$

Dússan-Sarria (2003), afirma que o coeficiente pode alcançar valores entre 20 e 35 $W/m^2\text{°C}$ para fluxos de ar de 1 a 3 L/s por kg de produto.

2.5 Armazenamento refrigerado

O fator mais importante que afeta a vida útil de vegetais é a temperatura, a qual influencia diretamente as taxas das reações químicas e enzimáticas (ROSA; FARIA; AMANTE, 1999). A conservação de produtos vegetais por refrigeração baseia-se na inibição total ou parcial dos principais agentes responsáveis pelas alterações que ocorrem neste grupo de alimentos: o crescimento e atividade microbiana, as atividades metabólicas dos tecidos após a colheita, as enzimas e as reações químicas (ORDÓÑEZ, 2005).

Os produtos vegetais caracterizam-se por serem sensíveis a mudanças indesejáveis de temperatura e umidade relativa do ambiente onde se encontram. Algumas vezes, essas alterações podem não ser notadas de imediato, mas serão observadas ao longo da cadeia de comercialização por meio da mudança de sabor, odor, firmeza e outras características de qualidade inerentes ao produto (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Assim, a implantação da ‘Cadeia do Frio’, obedecendo às características particulares de cada cultivar, garante a conservação da qualidade durante a comercialização de frutos e hortaliças até que esses produtos cheguem à mesa do consumidor (FERREIRA NETO et al., 2006).

Melo (2005) cita que o armazenamento visa, principalmente, minimizar a intensidade do processo vital dos frutos com a utilização das condições ideais, permitindo, assim, a redução em seu metabolismo normal, sem alterações na fisiologia dos mesmos.

O uso de baixas temperaturas no armazenamento de frutos remete ao conceito de carga térmica, uma vez que esse termo representa a retirada de calor gerado pelo produto armazenado para reduzir sua temperatura até o nível desejado (FERREIRA NETO et al., 2006). O calor sempre flui naturalmente de um objeto quente para um frio, em refrigeração o produto é resfriado pela remoção do seu calor e não pela transmissão de frio para ele (CHITARRA; CHITARRA, 2005). A temperatura de armazenamento está intimamente relacionada à intensidade respiratória, pois a mesma pode ser reduzida pelo uso de baixas temperaturas, conseqüentemente, ocorre a redução da velocidade das reações bioquímicas, inclusive as ligadas à senescência (JACOMINO et al., 2008).

As perdas de frutos por amadurecimento precoce e falta de experimento pós-colheita adequado ainda é um entrave a ser vencido, entre as origens destas perdas está a não utilização de um armazenamento refrigerado após a colheita (CARRARO; MANCUSO, 1994). A ‘Cadeia do Frio’ é definida como o conjunto de sistemas que garantem a manutenção da qualidade dos produtos desde o momento da colheita até o seu consumo. São

elementos fundamentais desta cadeia: câmaras e sistemas de resfriamento rápido e estocagem, caminhões frigorificados para o transporte terrestre, *containers* frigoríficos para o transporte marítimo, aéreo ou ferroviário, expositores refrigerados de supermercados e geladeiras domésticas e industriais (TERUEL; CORTEZ; NEVES FILHO, 2003).

A temperatura de armazenamento de vegetais é o fator ambiental mais relevante, pois regula as taxas de todos os processos fisiológicos e bioquímicos associados, dentro de uma faixa fisiologicamente aceitável ao produto, e, assim, controla a senescência e aumenta a vida útil (BRACKMANN; HUNSCHE; LUNARDI 2001). É importante lembrar que por mais que o armazenamento refrigerado de frutos diminua a respiração e o metabolismo, mantendo suas qualidade por um período mais prolongado, não ocorre o retardo de todas as reações do metabolismo (AWAD, 1993).

2.6 Resfriamento rápido

O armazenamento refrigerado de hortícolas deve ser iniciado imediatamente após a colheita, qualquer atraso na providência para a diminuição da temperatura ideal pode provocar a redução do tempo em que o produto possa permanecer armazenado. A refrigeração deve ser contínua e mantida ao longo de todo o curso, do produtor ao consumidor.

O tempo de espera após a colheita, antes da etapa de refrigeração, influenciará na deterioração desses produtos (HARDENBURG; WATADA; WANG, 1990; SUN; BROSNAM, 1999). Como acontece com o morango, se não for refrigerado, precisa ser comercializado em, no máximo três dias; e, se apenas refrigerado chegaria a uma semana (TANABE; CORTEZ, 1998). Para preservar a qualidade e prolongar a vida útil de produtos hortícolas é essencial fazer um resfriamento rápido até a temperatura próxima de estocagem (SPAGNOL; SIGRIST, 1992). Quanto antes um produto vegetal atingir a sua temperatura ideal de estocagem, maior será a vida útil e menores serão as perdas durante a comercialização.

Segundo Teruel, Cortez e Neves Filho (2001), a eficiência deste processo é caracterizada pela relação entre o tempo e a temperatura. Para reduzir a perda de massa do produto, é necessário que a redução da temperatura do fruto recém-colhido seja realizada no menor tempo possível, pois quanto maior a temperatura do produto, maior será a sua pressão de vapor de água (CASTRO; PARK; HONÓRIO, 2000).

Conforme Dússan-Sarria (2003), a quantidade de calor que é retirada do produto é dependente da diferença de temperatura entre o produto e o meio, da taxa de resfriamento, da quantidade de produto a ser resfriada em um determinado tempo e do calor específico do produto. Durante essa etapa, o processo de transferência de calor da superfície ao interior do produto hortícola pode ser considerado basicamente por condução, quando pontos distintos de um corpo estão a diferentes temperaturas.

Ferri e Rombaldi (2004) compararam o atraso do resfriamento de ameixas por 10, 20 ou 30 horas e concluíram que quanto maior o atraso no resfriamento rápido, pior a qualidade dos frutos em termo de firmeza de polpa, percentual de frutos extremamente maduros e ocorrência de podridão.

Como o próprio nome já sugere, o processo de resfriamento rápido propõe uma rápida remoção do calor do produto recém-colhido, antes de ir para a etapa de estocagem ou transporte a longas distâncias. Denominada do inglês *precooling*, é a primeira etapa do manuseio da temperatura, tendo como principal finalidade a remoção rápida do calor de campo de produtos recém colhidos (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Constitui o primeiro passo da “Cadeia do Frio”, devendo ser aplicado antes do armazenamento definitivo do produto, para reduzir rapidamente os processos metabólicos de respiração e deterioração (CANTILLANO, 1986). É uma operação distinta do armazenamento refrigerado e que requer instalações e equipamentos elaborados para tal (BLEINROTH et al., 1992).

A tecnologia reduz a velocidade da deterioração natural (amadurecimento e senescência) e do crescimento de microrganismos, reduz, ainda, o murchamento, visto que a perda d’água torna-se mais lenta em temperaturas mais baixas (CORTEZ et al., 2002).

Produtos bastante perecíveis, tais como, vagem, brócolis, couve-flor, milho em espiga, tomate, vegetais folhosos, alcachofra, repolho, cenoura, ervilha e rabanete devem ser resfriados imediatamente após a colheita, de preferência ainda no campo. Dentre os principais frutos que devem ser resfriados logo após a colheita, destacam-se o abacate, morango, pêssego, nectarina, ameixa, frutos tropicais e subtropicais como goiaba, manga, papaia e abacaxi (VISSOTTO; KIECKBUSH; NEVES FILHO, 1999).

Segundo Leal e Cortez (1998), o objetivo principal desse método é o de fornecer a rapidez no resfriamento de hortícolas, logo após a colheita, a fim de proporcionar rápida remoção do “calor de campo”, antes de o produto ser transportado para mercados distantes, processado ou armazenado. Geralmente, é feito separado dentro de poucas horas ou até mesmo minutos (PINTO; JORGE, 2007). O atraso entre a colheita e o resfriamento provoca a

deterioração prematura do produto e, como consequência, a perda de qualidade dos mesmos (TERUEL et al., 2002a).

A atividade metabólica produz calor e o calor do produto é controlado pela temperatura do ambiente. Um indicador do calor de campo é a diferença de temperatura de um produto recém colhido e a sua temperatura ótima de armazenamento. O resfriamento rápido é a redução rápida da temperatura do produto recém-colhido para essa temperatura ótima de armazenamento do mesmo, sendo resfriado, normalmente, até $\frac{7}{8}$ ou 88% da diferença de temperatura (GAST; FLORES, 1991). Um produto, mesmo resfriado rapidamente, só se conservará bem se o seu conteúdo de calor for mantido até seu consumo final, assim, se por alguma razão a “Cadeia do Frio” for quebrada, diminui-se o período de conservação pela diminuição da qualidade (DÚSSAN-SARRIA; HONÓRIO, 2005).

Brackmann, Hunsche e Lunardi (2001), avaliaram o efeito do retardamento no tempo de resfriamento rápido sobre a qualidade da maçã ‘Gala’ e observaram que o resfriamento rápido apresentou efeito significativo na manutenção da firmeza após sete dias a 20°C e concluíram que é possível retardar o armazenamento dos frutos por até 28 horas após a colheita, desde que seja efetuado um resfriamento rápido dos frutos.

Existem diferentes métodos de resfriamento rápido e a escolha dos mesmos depende dos seguintes fatores: tipo de produto a ser resfriado (cultivar, grau de maturidade, forma geométrica, tamanho e adaptabilidade ao método), tipo de equipamento disponível, embalagem, estrutura física disponível, mão-de-obra requerida, fatores econômicos, entre outros (GAST; FLORES, 1991; VISSOTTO; KIECKBUSH; NEVES FILHO, 1999).

Os quatro principais métodos para produtos hortícolas, dependendo do meio refrigerante utilizado são: por ar forçado (*forced-air cooling*), com água gelada (*hydrocooling*), com gelo e à vácuo (AFONSO, 2005; CORTEZ et al., 2002; TERUEL; CORTEZ; NEVES FILHO, 2003).

2.7 Resfriamento rápido por ar forçado (*forced-air cooling*)

No sistema por ar forçado, o ar é o meio de resfriamento, o qual é forçado através dos produtos reduzindo o tempo de resfriamento dos mesmos (CHITARRA; CHITARRA, 2005; CORTEZ et al., 2002). Existem várias configurações que representam esse sistema, a mais comum é aquela na qual se aproveita uma câmara de estocagem e arranja-se o produto

de forma a direcionar o ar por entre eles. Esse arranjo pode ser feito com o uso de lonas e um forçador de ar que provocará um fluxo de ar e, conseqüentemente, uma diferença de pressão (CORTEZ et al., 2002).

O sistema de resfriamento rápido em câmara deve ser projetado de forma que retire a carga térmica correspondente à estocagem e ainda o calor de campo, sendo necessário promover uma circulação eficiente de ar associada a uma temperatura adequada (LEAL; CORTEZ, 1998). As Figuras 01 e 02 apresentam a passagem de ar pelas caixas e pelos frutos.

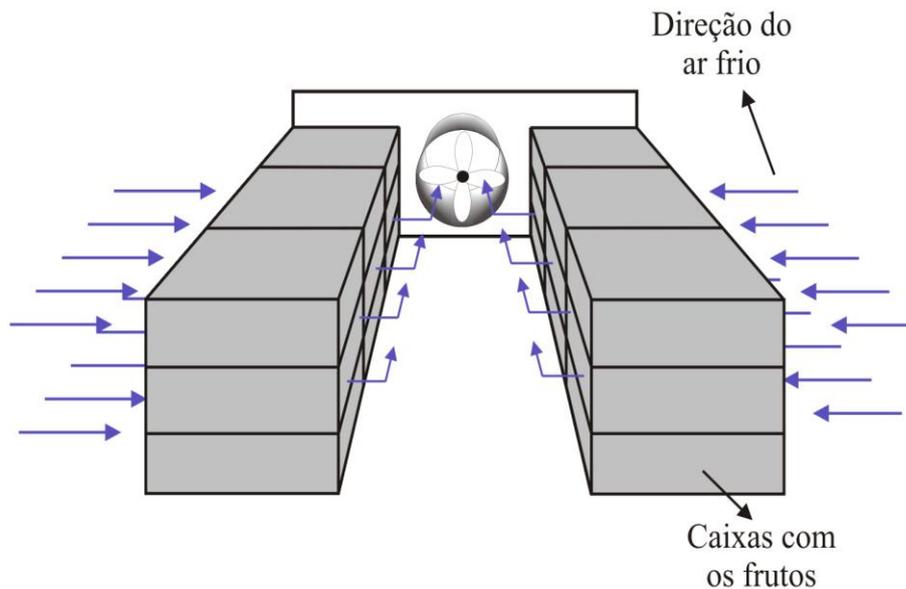


Figura 01 - Representação da passagem do ar pelas caixas no túnel de resfriamento.

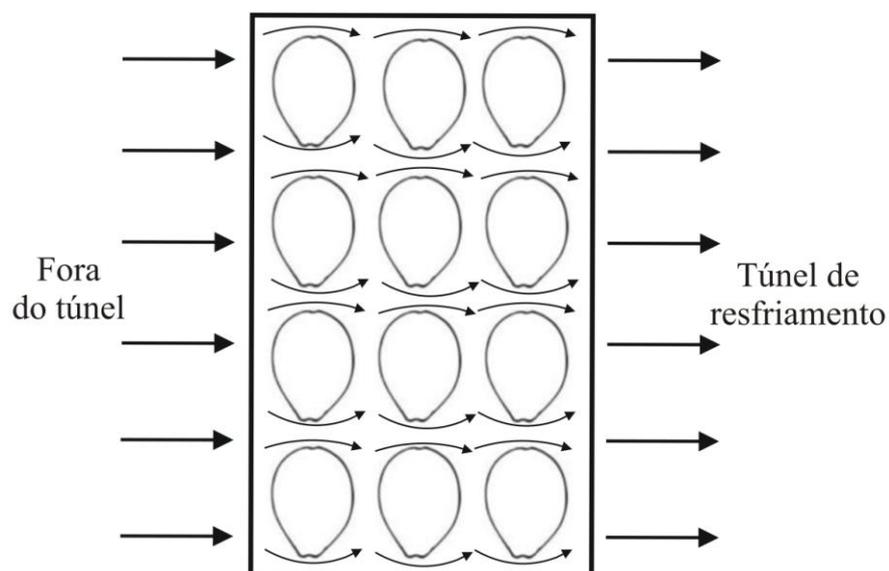


Figura 02 - Representação da passagem do ar pelos frutos dentro da embalagem.

A maioria das câmaras de armazenamento não possui capacidade de refrigeração e nem movimentação de ar com velocidade suficiente para a aplicação deste método. Assim, a tecnologia geralmente, é uma operação separada e necessita de equipamentos de maior capacidade de refrigeração (LOUZADA; SESTARI; HELDWEIN, 2003). O ar é forçado na direção dos produtos por ventiladores, permitindo um contato eficiente entre o meio de resfriamento e o produto recém-colhido e a transferência de calor se dá pelo processo convectivo forçado (VISSOTTO; KIECKBUSH; NEVES FILHO, 1999). Tão logo o produto seja resfriado, deve-se reduzir substancialmente ou eliminar de vez o fluxo de ar através do produto, pois o fluxo contínuo pode causar séria perda de massa pelos produtos (ANTONIALI, 2000).

O tempo de resfriamento é função das dimensões das caixas, da área de abertura destas, da forma de distribuição das mesmas, das características do produto, tais como temperatura inicial e final, calor específico, forma geométrica; altura do leito de frutos dispostos no interior da embalagem; e das características do ar de resfriamento: temperatura, velocidade, umidade relativa, propriedades térmicas. O movimento do ar é sempre na direção do ar refrigerado para o produto, evitando a condensação de água sobre o produto (LEAL; CORTEZ, 1998; TERUEL et al., 2002b).

Teruel, Kieckbusch e Cortez (2004) realizaram estudo com produtos hortícolas de tamanhos diferentes e verificaram que o tempo de resfriamento varia proporcionalmente com o volume, de modo que frutas maiores foram resfriadas em tempos maiores quando comparadas com as frutas de menores tamanhos.

No resfriamento lento, realizado em câmaras convencionais, o ar é simplesmente circulado pelo produto e não direcionado ao mesmo, dando-se a transferência por condução. O ar segue caminhos preferenciais que ofereçam menor resistência à sua passagem, não adentrando, assim na embalagem (VISSOTTO; KIECKBUSH; NEVES FILHO, 1999). Já no resfriamento rápido por ar forçado os produtos são resfriados com mais eficiência, pois o mesmo é induzido a passar dentro das embalagens.

O processo se dá da seguinte forma: os paletes com as embalagens contendo os frutos são colocados lado a lado formando um túnel (DÚSSAN-SARRIA; HONÓRIO, 2005). O ventilador trabalha como um exaustor succionando o ar refrigerado que sai do evaporador e o ar resfriado é forçado a passar transversalmente entre o volume dos frutos, colocados no túnel de resfriamento, o qual é fechado na parte frontal e superior com uma lona para viabilizar o método, criando, assim, uma pressão negativa (CORTEZ et al., 2002; TERUEL; CORTEZ; NEVES FILHO, 2003).

O sistema acima descrito possibilita o aumento da interação dos produtos e o meio de resfriamento, pois o ar é forçado a passar dentro das embalagens contendo os produtos (LEAL; CORTEZ, 1998). O mesmo pode ser montado no interior de uma câmara frigorífica convencional. Dessa forma, o ar que passa através das caixas no interior do duto é o ar frio que sai do evaporador (PINTO, 2005). Em câmaras convencionais, o ar circula livremente pela câmara, a velocidades relativamente baixas (menores que 1 m/s) sem seguir caminho preferencial, não sendo forçado a passar transversalmente sobre os produtos. Nos sistemas com circulação forçada, o ar é conduzido por entre o volume de caixas a velocidades mais altas (entre 1 a 5 m/s) o que faz com que o processo de transferência de calor seja mais intenso e os tempos de resfriamento menores (TERUEL et al., 2001).

As embalagens apresentam grande influência no processo, as mesmas devem ter aberturas e devem ser distribuídas de forma a facilitar a movimentação do ar através delas, promovendo assim uma efetiva troca de calor entre o produto e o meio (CORTEZ et al., 2002, SANINO; CORTEZ; TERUEL, 2003). Elas devem ter, no mínimo, 5% da área efetiva para a passagem do ar refrigerado, e para garantir a uniformidade do resfriamento é importante que a quantidade das áreas de abertura e a forma estejam corretamente distribuídas (LEAL; CORTEZ, 1998).

Tabolt e Chau (1991) realizaram experimentos com morangos, resfriando-os de 28°C até 5°C e observaram que o tempo dos $\frac{7}{8}$ de resfriamento variou em dependência da taxa de ar que circulou na área de abertura das embalagens entre 160 a 52 minutos. Teruel et al. (2002a) avaliaram dois tipos de embalagens para resfriamento rápido com ar forçado em banana. A embalagem plástica apresentava 40% da área efetiva de abertura e a embalagem de papelão 3,2%. Os resultados obtidos confirmaram que a embalagem de maior área de abertura apresenta um tempo de resfriamento 45% menor do que o tempo da embalagem com menor área de abertura.

É importante que as aberturas não sejam obstruídas por acessórios internos, tais como bandejas, plásticos, papéis, etc., caso sejam essenciais para a conservação do produto, o fluxo de ar do ventilador deverá ser adequadamente elevado para compensar seus efeitos (CORTEZ et al., 2002). O resfriamento dos frutos também depende da localização destes no leito, os que se encontram em maior contato com o fluxo de ar resfriam-se em um menor tempo do que aqueles que estão em uma posição mais afastada, pois o processo de transferência de calor é mais intenso (TERUEL et al., 2001; TERUEL; CORTEZ; NEVES FILHO, 2003).

Thompson et al. (1998) verificaram que cerejas embaladas e resfriadas de 30°C para 10°C com ar forçado à vazão de 0,002 m³.s⁻¹ por kg de produto tiveram uma diferença de 25 minutos no tempo de resfriamento entre as cerejas da base dos *pallets* e àquelas na superfície dos mesmos. Assim, nem sempre uma alta vazão de ar frio significará um bom processo de resfriamento, é preciso que ar frio seja uniformemente distribuído em todo o lote.

Quanto maior for a área de superfície exposta, maior vai ser a obtenção de um alto coeficiente de transferência de calor convectivo a aceitáveis taxas de fluxo de ar. A taxa de evaporação na superfície do produto também afeta significativamente a taxa de resfriamento. No início o resfriamento evaporativo ocorre quando o ar não se encontra saturado, e é insuflado através de uma superfície úmida. O calor vai sendo removido à medida que ocorre a evaporação da água na superfície do produto, conseqüentemente ocorre diminuição da temperatura (VIZZOTTO; KIECKBUSH; NEVES FILHO, 1999).

Para o resfriamento com ar forçado sugere-se que a taxa de ar seja entre 0,001 e 0,006 m³.s⁻¹/kg de produto, que corresponde de 1 a 6 L.s⁻¹/kg de produto a ser resfriado (ARIFIN; CHAU, 1988; TERUEL et al., 2008). Vazão acima da recomendada pode provocar aumento da transferência de massa, refletindo em perda de massa dos produtos. Atualmente os sistemas funcionam de acordo com a vazão de ar pré-determinada no projeto em função da quantidade de produto a resfriar (TERUEL et al., 2008).

No uso de resfriamento rápido por ar forçado em ameixas, utilizando uma vazão de ar de 0,001 m³/s por kg de produto, o tempo para a temperatura atingir os ⁷/₈ de resfriamento foi de 4 horas, enquanto com uma vazão duas vezes maior o tempo foi reduzido em 40% (THOMPSON et al., 1998).

No Brasil a prática desta tecnologia ainda não está bem implementada, percebe-se a falta de conhecimento dos produtores; o armazenamento ainda é feito de forma bastante precária e a etapa de resfriamento rápido dos frutos geralmente não é efetuada. Além disso, os produtores colocam novas cargas ainda não resfriadas na unidade de armazenamento, fazendo com que o processo de resfriamento na câmara seja demorado e irregular, principalmente em função da oscilação da temperatura (LOUZADA; SESTARI; HELDWEIN, 2003).

Em comparação com o resfriamento rápido com água, o por ar forçador tem a vantagem de evitar a contaminação dos frutos com esporos causadores de podridões presentes na água do processo, pois muitas vezes não ocorre o cuidado que a mesma seja corrente ou à falta de sanitização da mesma (BRACKMANN; STEFFENS; MELLO, 2001). Em contrapartida, as principais desvantagens são: demanda de manuseio adicional do produto, dificuldade no uso de embalagens secundárias que protegem o produto, resfriamento desigual,

uma vez que a temperatura desejada é atingida antes por alguns produtos que por outros, e tempo de resfriamento é mais lento do que com resfriamento a água ou vácuo podendo causar excessiva perda de água em alguns produtos (CORTEZ et al., 2002; LOUZADA; SESTARI; HELDWEIN, 2003).

Uma forma de reduzir custos com sistemas de resfriamento por ar forçado é utilizá-los unicamente para o resfriamento rápido dos produtos, sendo os mesmos posteriormente estocados em câmaras de resfriamento, transportados ou comercializados. Alguns dos principais fatores que afetam os custos de resfriamento são: quantidade de horas de operação, temperatura do meio e tipos de embalagem (TERUEL et al., 2002b).

A utilização do sistema de resfriamento rápido por ar forçado pode resultar em produtos de boa qualidade, menores perdas para o comerciante, aumento no tempo de comercialização com menor desperdício e maiores ganhos (ASHRAE, 1994).

2.8 Modelo matemático do resfriamento de frutos

Segundo Dússan-Sarria (2003), para analisar o comportamento das diversas variáveis envolvidas no processo de resfriamento utiliza-se modelos matemáticos, oferecendo resultados próximos em relação aos obtidos experimentalmente, quanto a forma da fruta pode ser aproximada a uma esfera, placa infinita ou cilindro.

Dos parâmetros envolvidos no processo em qualquer método de resfriamento rápido, o mais importante e mais utilizado é a determinação do tempo necessário para resfriamento do produto. Segundo Chau (2001), usualmente utiliza-se o conceito de “tempo de meio ($\frac{1}{2}$) resfriamento” e o “tempo de sete oitavos ($\frac{7}{8}$) de resfriamento”. Segundo a Ashrae (2002) o tempo de $\frac{1}{2}$ resfriamento é aquele necessário para diminuir a temperatura do produto até a temperatura média entre a inicial do produto e aquela do meio de resfriamento.

O tempo de $\frac{7}{8}$ de resfriamento (*seven-eights cooling time*) é a diferença de temperatura inicial do produto e meio de resfriamento, que equivale a um tempo de resfriamento mais próximo ao requerido para trazer a fruta à temperatura desejada de transporte ou armazenamento, e pode ser expresso em horas ou minutos (CASTRO; PARK; HONÓRIO, 2000). A partir da determinação deste tempo é possível estimar o efeito das diversas variáveis envolvidas no resfriamento rápido sobre a temperatura do produto e no tempo necessário para o produto atingir certa temperatura.

A diminuição da temperatura dos produtos hortícolas submetidos aos métodos de resfriamento rápido apresentam uma característica exponencial em função do tempo, isso implica que, à medida que o resfriamento ocorre, há uma queda rápida da temperatura do produto no início, porém bem menos acentuada quando a temperatura do produto se aproxima da temperatura do meio de resfriamento. Tal comportamento é ilustrado na Figura 03.

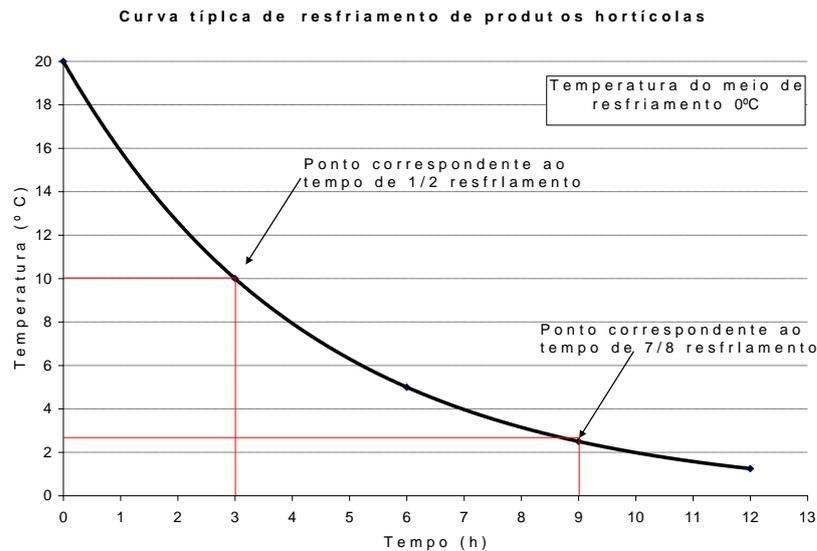


Figura 03 - Exemplo de uma curva típica de resfriamento de produtos hortícolas.

A curva de resfriamento para produtos hortícolas pode ser representada pela equação (5) e a taxa adimensional de temperatura é expressa pela equação (6) (CHAU, 2001; DÚSSAN-SARRIA, 2003):

$$\theta = J e^{-at} \quad (5)$$

$$\theta = (T - T_a) / (T_i - T_a) \quad (6)$$

Onde, θ corresponde ao adimensional de temperaturas, t ao tempo de resfriamento, expresso em horas, J refere-se ao fator de atraso, a é o termo exponencial que representa a taxa ou coeficiente de resfriamento, expresso em h^{-1} , T corresponde à temperatura no centro da fruta em qualquer instante de tempo ($^{\circ}C$), T_a a temperatura do meio tempo de resfriamento ($^{\circ}C$) e T_i à temperatura inicial da fruta ($^{\circ}C$).

O coeficiente de resfriamento (a) é definido como a mudança da temperatura do produto por unidade de tempo para cada grau de diferença de temperatura entre o produto e o meio em que se encontra.

Quando ocorre transferência de calor, o gradiente de temperatura dentro do produto é desprezível e o fator de atraso (J), corresponde a 1. Desta forma a relação de temperaturas é expressa conforme a equação (7) (CHAU, 2001):

$$\theta = (T - T_a) / (T_i - T_a) = e^{(hcA / \rho v C_p).t} \quad (7)$$

Onde, hc representa o coeficiente convectivo de transferência de calor ($W/m^2\text{°C}$); A é a área superficial do produto (m^2); ρ , a densidade do produto (kg/m^3); v refere-se ao volume do produto (m^3) e C_p ao calor específico do produto ($J/kg\text{°C}$).

Assim, a taxa de resfriamento pode ser representada pela equação (8) e é definida como a queda da temperatura por unidade de tempo expressa em °C/h ou °C/min :

$$a = hcA / \rho v C_p \quad (8)$$

Nos casos onde hc , A , ρ , v e C_p podem ser considerados constantes (CHAU, 2001) pode-se definir uma única constante a , como mostra a equação (9):

$$(T - T_a) / (T_i - T_a) = e^{-at} \quad (9)$$

Conhecendo-se o coeficiente de resfriamento (a) e considerando-se que a temperatura do ar é constante, pode-se determinar a temperatura de um produto em qualquer tempo através da equação (9). Sendo esta mesma equação aplicada apenas quando se pode assumir que o gradiente de temperaturas dentro do produto é pequeno, ou seja, quando a diferença entre a temperatura da superfície do produto como seu centro seja pequena (ASHRAE, 2002; CHAU, 2001). Com regra geral, segundo CHAU (2001), a equação (9) pode ser utilizada se a relação representada pela equação (10) for obedecida.

$$h_c v / \kappa A \leq 1,0 \quad (10)$$

Onde, k corresponde à condutividade térmica do produto ($\text{W/m}^2\text{°C}$), V ao volume do produto (m^3), hc refere-se ao coeficiente convectivo de transferência de calor ($\text{W/m}^2\text{°C}$) e A é área superficial do produto (m^2).

Apenas algumas hortaliças encontram-se nesta condição, a maioria dos frutos e hortaliças apresenta gradiente de temperatura entre o centro do produto e sua superfície (DÚSSAN SARRIA, 2003). Neste caso, podem ser usados modelos analíticos pré-definidos, os quais dependem da forma geométrica do produto (esferas, cilindros, pratos planos ou paralelepípedos), considerando-se que a temperatura inicial do produto é uniforme, que as propriedades térmicas são constantes e que a temperatura do meio de resfriamento é constante ou varia de acordo a uma simples função de tempo (CHAU, 2001).

Como muitas frutas possuem sua geometria parecida com uma esfera, apresentando uma determinada difusividade térmica (α), temperatura inicial (T_i) e submetida a uma temperatura de resfriamento T_a , temos o modelo analítico que relaciona a temperatura ao longo do produto com o tempo pode ser visto na equação (11).

$$\frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2(\text{sen}\mu_n - \mu_n \cos \mu_n) R \text{sen}(\mu_n r/R)}{(\mu_n - \text{sen}\mu_n \cos \mu_n) r \mu_n} e^{-\mu_n^2 \frac{\alpha}{R^2} t} \quad (11)$$

Onde,

R é raio do produto (m), r a é distância do centro do produto (m), t é o tempo, expresso em segundos, T é a temperatura em r no instante t ($^{\circ}\text{C}$) e α corresponde à difusividade térmica do produto (m^2/s). A solução para μ_n da equação (11) pode ser escrita na seguinte forma, em termos do número de *Biot*:

$$1 - Bi = \mu \cot ag\mu \quad (12)$$

O Número de *Biot* (Bi) representa a relação entre a transferência de calor por convecção, entre o produto e o meio de resfriamento, e a transferência de calor por condução, no interior do produto (CHAU, 2001). Para efetuar o cálculo, o coeficiente μ deve ser inserido em radianos e o Número de *Biot* é adimensional. Na equação (13) o Bi é representado por:

$$Bi = h_c \cdot R / \kappa \quad (13)$$

Onde, h_c expressa o coeficiente convectivo de transferência de calor ($\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$); κ é a condutividade térmica do produto ($\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$); R , o raio do produto esférico (m).

O número de Biot (Bi) é a razão entre a resistência interna e externa de transferência de calor e o resfriamento de produtos com ar forçado obedece à lei de Fourier, a qual considera que o coeficiente convectivo superficial de transferência de calor é alto se comparado com a condutividade térmica; a resistência ao fluxo de calor pode ser considerada somente devido à resistência interna do produto e a existência de gradiente considerável de temperatura dentro do corpo. Assim, as condições são as seguintes (DÚSSAN-SARRIA, 2003): h_c é alto se comparado com k , ou seja, $Bi = (h_c R / k) > 0,2$; o gradiente de temperatura com respeito ao eixo do corpo, não é pequena e varia com o tempo.

Valores muito baixos de Bi indicam que a resistência interna de condução é desprezível se comparada com a resistência superficial por convecção. Valores altos para o número de Bi indicam uma maior intensidade no processo de transferência de calor, o que se reflete em altos coeficientes de transferência de calor (TERUEL et al., 2001).

A equação (11) representa o modelo analítico do comportamento típico da temperatura através do tempo durante o resfriamento de frutas esféricas. Comparando a equação (11) com a equação (5), o fator de atraso (J) e o coeficiente de resfriamento (a) são definidos:

$$J = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2(\text{sen}\mu_n - \mu_n \cos\mu_n) R \text{sen}(\mu_n r/R)}{(\mu_n - \text{sen}\mu_n \cos\mu_n) r \mu_n} \quad (14)$$

$$a = - (\mu_n^2 \alpha) / R^2 \quad (15)$$

O termo fator de atraso (J) está diretamente relacionado ao coeficiente convectivo de transferência de calor e depende do meio de resfriamento, gradiente de temperatura, velocidade do fluido e forma geométrica do produto. No resfriamento de frutas, as temperaturas no interior são bem diferentes das temperaturas nas superfícies. A baixa difusividade térmica desses produtos causa atraso no resfriamento do interior, sendo o fator de

atraso maior do que 1 junto ao interior e menor do que 1 perto da superfície. Para frutas de formato esférico, os valores de J no centro do produto estarão entre 1 e 2 (SPAGNOL; ROCHA; PARK, 1989).

Segundo DÚSSAN SARRIA (2003), entre a superfície do produto e o meio (ar) existe transferência de calor por convecção e à medida que a superfície se resfria mais rapidamente a condução do calor do centro à superfície do produto é maior. O resfriamento de produtos com ar forçado obedece à Lei de Fourier. O tempo gasto de monitoramento da temperatura da superfície do fruto, para um mesmo diferencial de temperatura, é menor do que quando o monitoramento é feito no centro do produto.

O coeficiente convectivo de transferência de calor apresenta um papel importante nos processos que envolvem convecção e umas das causas mais comuns de erro no cálculo da temperatura dentro de um sólido é devido a uma avaliação errada deste coeficiente (TERUEL et al., 2001).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Planejamento experimental

Na presente pesquisa foram estudadas duas variáveis independentes e o procedimento experimental escolhido foi o delineamento composto central rotacional (DCCR) com duas variáveis independentes (RODRIGUES; IEMMA, 2005). As variáveis utilizadas foram abertura das caixas (X_1) e tempo entre a colheita e o resfriamento rápido (X_2). Os valores mínimo, máximo e médio para a área de abertura foram 1,77 %; 6,37 % e 10,98 %, respectivamente e para o tempo entre a colheita e o resfriamento rápido foram 24 h; 28 h e 15 min; e 32 h e 30 min, respectivamente.

O planejamento experimental completo constituiu de 11 experimentos, incluindo quatro fatoriais (níveis -1 e $+1$), quatro axiais (níveis $\pm\alpha$) e três replicatas no ponto central (Tabela 02). Foi utilizado o Software *Statistic*, versão 7.0 para a realização do planejamento e suas análises através da metodologia de superfície de resposta (RSM).

Tabela 02 – Níveis codificados das duas variáveis aplicadas no processo de resfriamento rápido por ar forçado.

Variáveis Independentes	$-\alpha^*$	-1	0	1	$+\alpha^*$
Área de abertura das caixas (%)	1,77	3,19	6,37	9,56	10,98
Tempo entre colheita e resfriamento rápido (horas)	24 h	24h 15min	28h 15 min	31h 15min	32h 30min

* $\alpha = \pm 1,414$ para $k = 2$ (duas variáveis independentes).

Os experimentos no ponto central do planejamento foram realizados para viabilizar o cálculo de resíduos e, conseqüentemente, do erro padrão, das estimativas por intervalo, dos testes e assim por diante, além disso, os pontos centrais podem evidenciar a qualidade da repetibilidade do processo (RODRIGUES; IEMMA, 2005). Dessa forma, a Tabela 03 apresenta todos os experimentos e a combinação de seus níveis.

Tabela 03 – Variáveis independentes de cada experimento de resfriamento rápido por ar forçado e descrição dos experimentos controle.

Experimentos	Área de Abertura	Tempo entre colheita e resfriamento rápido
E01	9,56 %	31 h 15 min
E02	3,19 %	31 h 15 min
E03	9,56 %	24 h 15 min
E04	3,19 %	24 h 15 min
E05	6,37 %	28 h 15 min
E06	6,37 %	28 h 15 min
E07	6,37 %	28 h 15 min
E08	1,77 %	24 h 15 min
E09	10,98 %	24 h 15 min
E10	6,37 %	24 h
E11	6,37 %	32 h 30 min

As variáveis–resposta foram: vida útil, coeficiente convectivo de transferência de calor (hc) e tempo de resfriamento.

3.2 Goiabas

As goiabas utilizadas na pesquisa foram da cultivar Paluma, adquiridas em fazenda produtora do município de Limoeiro do Norte, no Estado do Ceará (Figura 04), com plantas de 7 anos, de plantio irrigado, colhidas no período de agosto a dezembro de 2008.



Figura 04 - Localização de Limoeiro do Norte no Pólo Baixo Jaguaribe do semi-árido nordestino (FRANÇA et al, 2008).

Os dados pluviométricos da região neste período são apresentados na Tabela 04.

Tabela 04 – Dados pluviométricos da região de Limoeiro do Norte (CE), Posto Limoeiro do Norte, no ano de 2008.

Mês	Quantidade de chuvas (mm)
Maio	116,2
Junho	21,2
Julho	13,6
Agosto	7,3
Setembro	1,4
Outubro	0
Novembro	ND
Dezembro	ND

Fonte: FUNCEME (2009) / ND = Dados não disponíveis.

Os frutos foram colhidos no estádio com a cor da casca variando de verde-escuro para verde-claro, conforme Choudhury et al. (2001). Logo após a colheita, as frutas foram acondicionadas em caixas plásticas, com papel entre as camadas (Figura 05) e transportadas para o Laboratório de Refrigeração da Universidade Federal do Ceará.



Figura 05 – Caixas plásticas para acondicionamento e transporte de goiabas.

3.3 Embalagens

As embalagens utilizadas para a realização da pesquisa foram do modelo usado para exportação, confeccionadas em papelão ondulado, com as dimensões externas: 31,5 x 26,5 x 8,3 cm (comprimento x largura x altura), comportando, em média, 3 kg de produto, cerca de 12 a 16 goiabas.

A área de abertura das caixas para a passagem do ar refrigerado foi em relação à área lateral da embalagem, a qual era de 261,5 cm² (comprimento x altura). A abertura correspondia a orifícios circulares (Figura 06), variando conforme planejamento experimental, de uma medida mínima de 1,77% e máxima de 10,98% para a passagem do ar. A medida da área de abertura foi em função da área lateral da embalagem.

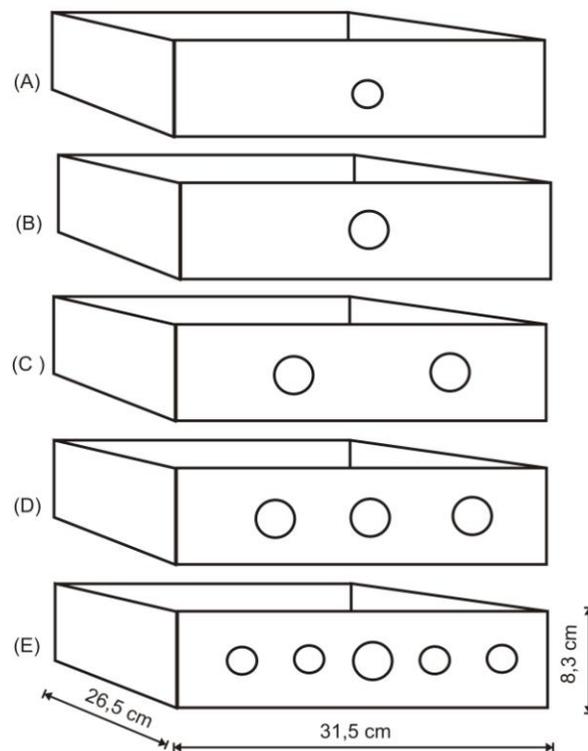


Figura 06 – Representação das aberturas laterais das caixas de papelão utilizadas para o resfriamento rápido por ar forçado: (A) 1,77%, (B) 3,19%, (C) 6,37%, (D) 9,56%, (E) 10,98%.

O papel de seda, comumente empregado na comercialização destas frutas para cobri-las individualmente, não foi utilizado, pois o mesmo agiria como uma barreira, reduzindo a eficiência da circulação do ar refrigerado entre os frutos.

3.4 Câmaras de refrigeração

Foram utilizadas duas câmaras de resfriamento para a realização da pesquisa, ambas localizadas no Laboratório de Refrigeração da Universidade Federal do Ceará. Uma para a aplicação do resfriamento rápido, na qual foi montado todo o sistema. Com paredes de alvenaria isoladas com poliestireno expandido, nas dimensões externas de 3,00 x 2,00 x 1,75 m (comprimento, largura e altura). Foi necessário adequar uma plataforma posicionada paralela à parede, junto ao evaporador e ao ventilador, bem como uma base de caixas de papelão no piso da câmara para permitir um melhor posicionamento do túnel de resfriamento.

A câmara utilizada para o armazenamento é constituída de painéis pré-fabricados, isoladas termicamente com espuma rígida de poliuretano injetado, com espessura do isolamento de 0,10 m e um indicador e controlador de temperatura digital na parede exterior, ao lado da porta. O monitoramento da temperatura foi feito através de termostatos localizados no interior da câmara. A temperatura foi controlada a $8 \pm 3^\circ\text{C}$ e a umidade relativa do ar a $90 \pm 3\%$ através de um sistema umidificador de ar (microaspersor) e para controle monitoramento desta foi utilizado um medidor eletrônico da marca *Full Gauge Controls* MT530plus. O equipamento frigorífico composto de: evaporador e unidade condensadora, da marca *McQuay*.

3.5 Sistema de resfriamento rápido por ar forçado

O sistema de resfriamento rápido por ar forçado montado possui os seguintes componentes principais (Figura 07): embalagens; forçador de ar; câmara de refrigeração com um sistema de resfriamento composto por uma unidade condensadora, evaporador e demais acessórios; lonas plásticas; placas de madeira e sistema de monitoramento.

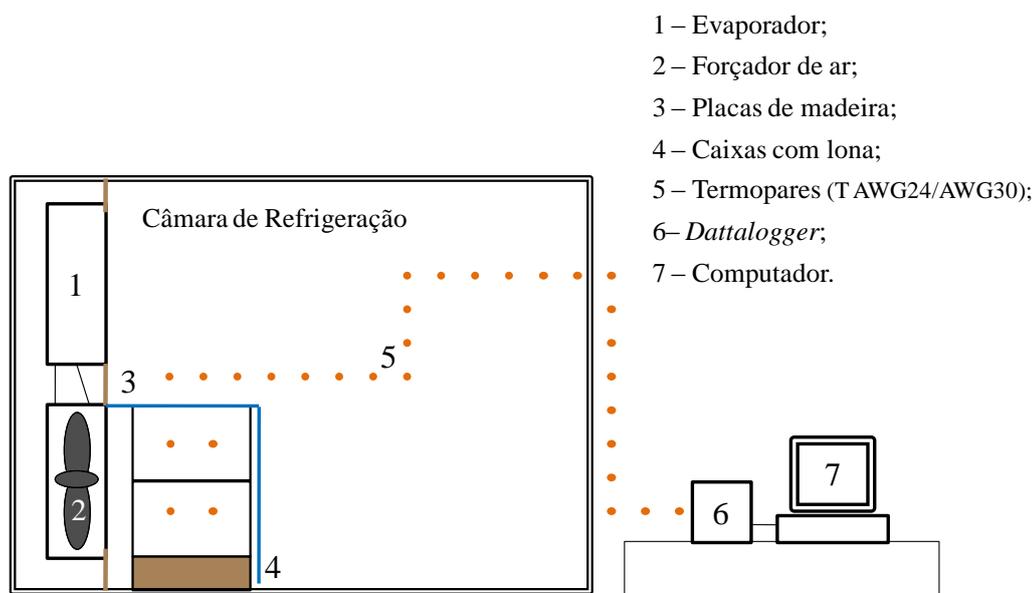


Figura 07 - Elementos que compõem o sistema de resfriamento e a bancada de experimentos. Adaptado Teruel; Cortez; Neves Filho (2001).

Dentro da câmara foi instalado o forçador de ar, um exaustor centrífugo, da marca VENTISILVA, modelo ECITAR, potência 1HP, 3400 rpm, com vazão de ar de 22 m³/min, com intuito de provocar a movimentação do ar desde o evaporador até os produtos. As caixas foram cobertas pela parte superior da pilha e na frente com uma lona plástica para permitir que a passagem de ar fosse feita somente pelas laterais.

Durante todo o processo foram monitoradas as temperaturas dos frutos e da entrada do ar no ventilador através de termopares do tipo ‘T’ AWG24 e AWG30, os mesmos foram inseridos no centro dos frutos (Figura 08), em pontos distintos das embalagens como mostra a Figura 09 (a e b).



Figura 08 – Colocação dos termopares no interior (centro) da goiaba

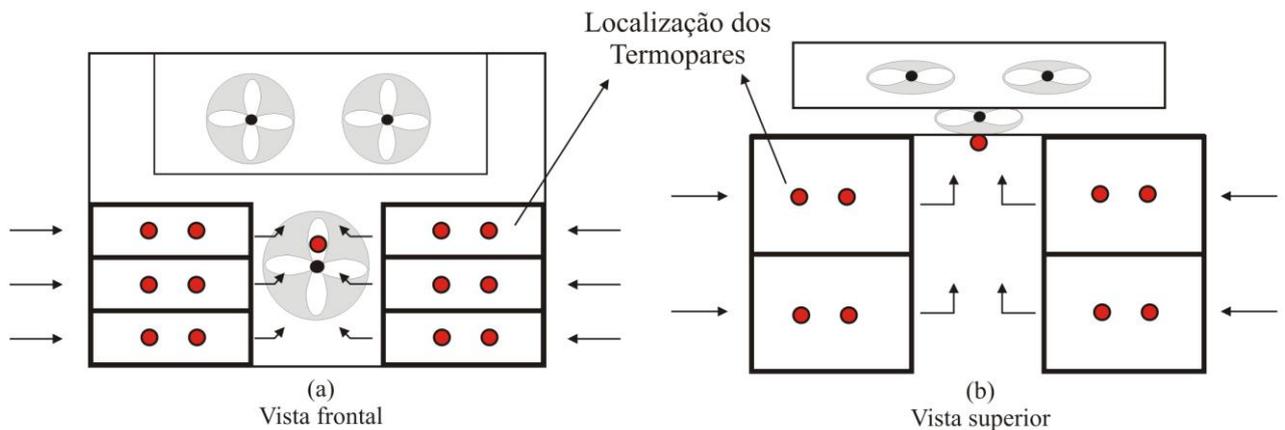


Figura 09 – Localização dos termopares no sistema de resfriamento rápido.

Para a realização das leituras de temperatura, o sistema de aquisição dos dados utilizado foi o *Datalogger* da NOVUS Ltda. Através de um software de comunicação (*Fieldchart*) entre o *Datalogger* e um microcomputador remoto, os dados de temperatura foram armazenados durante o resfriamento rápido em um arquivo compatível.

A velocidade do ar no interior do túnel de ar forçado foi determinada com um termoanemômetro digital de fio quente, da marca *Instrutherm* TAFR - 180, com escala de velocidade de 0,2 a 20 m/s, este tipo de anemômetro possui uma vareta de medição que permite grande flexibilidade para a colocação do mesmo nos pontos em que foram feitas as medições (Figura 10).

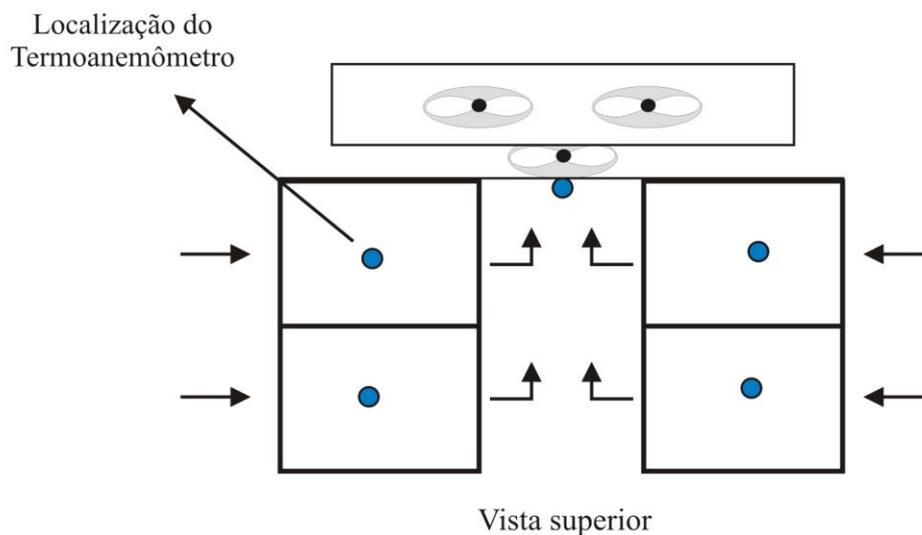


Figura 10 - Localização das medidas da velocidade do ar com o termoanemômetro de fio quente no sistema de resfriamento rápido.

Os cálculos do parâmetro vazão de ar foram realizados segundo Dússan-Sarria (2003), o qual corresponde à velocidade do ar (m/s) multiplicada pela área de abertura das embalagens (m^2).

3.6 Etapas dos processos

3.6.1 Recepção da matéria prima

Os frutos foram transportados ao Laboratório de Refrigeração da Universidade Federal do Ceará, onde foram selecionados quanto a uniformidade do tamanho e da cor, livres

de defeitos físicos, danos mecânicos ou infecções microbianas visíveis, procurando assim formar uma amostra homogênea para as diversas determinações. Os frutos foram higienizados da seguinte forma:

- Lavagem com água corrente para retirada das sujidades do campo, manuseio e transporte;
- Imersão em solução detergente Nitrol WV – 2640¹, da marca Nippon, na concentração de 10 % (100 mL / 1 L água), durante 2 minutos;
- Lavagem em água corrente para retirada dos resíduos da solução detergente;
- Imersão em solução de hipoclorito de sódio a 200 mg/L (cloro livre) por 15 minutos (VILA et al., 2007).

Após lavagem os frutos foram secos a temperatura ambiente e posteriormente acondicionados em única camada nas embalagens.

3.6.2 Armazenamento a temperatura ambiente

Para o armazenamento a temperatura ambiente, os frutos acondicionados em caixas de papelão e monitorados com o auxílio de termômetro (27°C).

3.6.3 Resfriamento lento

No experimento com resfriamento lento (sem a aplicação do resfriamento rápido) os frutos foram acondicionados nas mesmas embalagens e mantidos na câmara de armazenamento sob condições controladas a $8 \pm 3^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $90 \pm 3\%$. Sendo utilizado o mesmo numero de caixas do resfriamento rápido para obter carga térmica semelhante.

3.6.4 Resfriamento rápido

As caixas foram dispostas na câmara em duas fileiras, cada uma com duas colunas de 3 caixas, formando o túnel de resfriamento por ar forçado para a realização dos experimentos, em seguida, e com a câmara fechada, foram instalados rapidamente os termopares nos frutos, as embalagens foram cobertas com uma lona, o forçador de ar foi ligado e iniciou-se a aquisição dos dados. O forçador de ar succionou o ar refrigerado que saiu

¹ Sabão líquido concentrado para pré-lavagem de vegetais, adquirido em comércio local.

do evaporador e o ar resfriado foi forçado a passar transversalmente entre o volume das caixas contendo os frutos. A Figura 11 apresenta o arranjo das caixas dentro da câmara e a direção do ar por entre as mesmas.

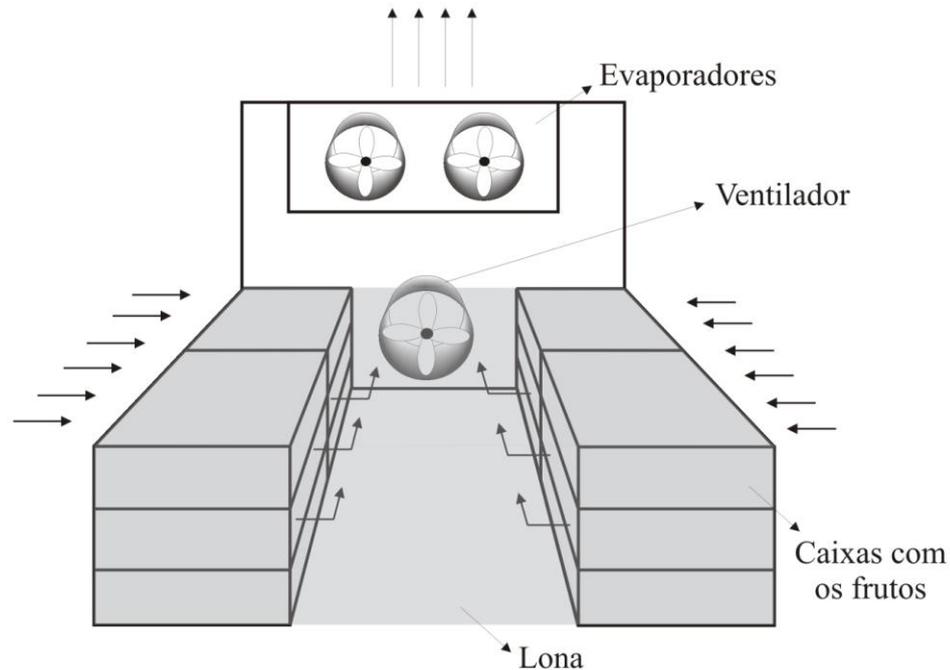


Figura 11 - Arranjo das caixas dentro da câmara e a direção do ar por entre as mesmas.

Durante todo o processo de resfriamento rápido as temperaturas dos termopares foram monitoradas para utilização dos dados na construção das curvas de resfriamento. As medições das velocidades do ar foram feitas nas quatro colunas das embalagens, realizando-se três medições em cada. Foi ainda realizada a medida da velocidade do ar na entrada do ventilador. Depois de atingida a média de temperatura de $8,2^{\circ}\text{C}$ o forçador de ar foi desligado e as caixas acondicionadas na câmara de armazenamento, a uma temperatura de $8 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $90 \pm 3\%$, para acompanhar a vida útil do produto.

Ao longo da estocagem as frutas foram retiradas em amostras em intervalos de tempo regular para o acompanhamento da qualidade e determinação período da vida útil.

3.7 Determinação das características físicas da goiaba

Foi retirada uma amostra das frutas para a caracterização do lote às suas características físicas determinadas foram: diâmetro médio, volume, massa específica e conteúdo de água.

3.7.1 Diâmetro

A medição do diâmetro longitudinal e transversal foi realizada com auxílio de um paquímetro de metal, marca Vernier Caliper de 150 x 0,05 mm.

3.7.2 Volume

A determinação do volume foi realizada pelo método de deslocamento de massa de água, como descrito por Moshenin (1978). Neste método, foram efetuadas 3 pesagens, como mostra a Figura 12. A primeira pesagem foi a massa do fruto. A segunda pesagem foi da massa de um recipiente contendo água. Por fim, para a terceira pesagem o fruto foi sustentado por uma haste e forçada para dentro do recipiente com água, até sua total submersão, sem, no entanto, tocar as superfícies do mesmo. Com o fruto submerso menos a massa do recipiente e com água é a medida da água deslocada, a qual foi usada para o cálculo do volume na equação: $[vV = (c - b) / \mu_{\text{água}}]$. Onde, V é o volume do fruto (m^3), $c - b$ é a massa de água deslocada (kg) e $\mu_{\text{água}}$ refere-se à massa específica da água ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

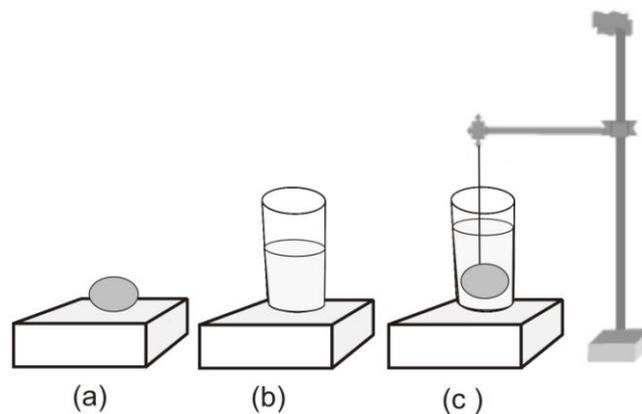


Figura 12 – Representação da determinação do volume e da massa, feito por deslocamento de massa de água.

3.7.3 Massa específica

A massa específica foi obtida pesando-se a massa do fruto em balança semi-analítica e determinando-se o seu volume, conforme a equação: $\rho_{\text{fruto}} = m / V$, onde ρ_{fruto} foi expressa em kg/m^3 , m é a massa (kg) e V refere-se ao volume (m^3), segundo Silva et al. (2002).

3.7.4 Conteúdo de água

O conteúdo de água foi determinado por método gravimétrico. Cerca de 5 g de amostra foram colocados em recipiente e levados à estufa com circulação forçada de ar a 60 °C até massa constante (pré-secagem). Depois do resfriamento em dessecador, as amostras foram pesadas em balança analítica e o teor de água foi calculado por diferença entre as massas do material úmido e seco. Em seguida, os recipientes retornaram à mesma estufa a 105°C por 12 h (secagem definitiva) e, logo depois, foram novamente pesados em balança analítica tendo seu teor de água calculado por meio do percentual de água evaporada (QUEIROZ, 2006). Os resultados foram expressos em porcentagem de base úmida. Para esta determinação foi utilizada uma estufa de secagem com circulação e renovação de ar, modelo TE-394, da marca *Tecnal*.

3.8 Abordagem matemática

Para os diferentes experimentos de resfriamento rápido aplicados, a abordagem foi considerada para um produto de formato esférico de raio R , ao qual foi submetido aos processos em diferentes condições de área de abertura das embalagens. A transferência de calor assumiu-se em uma direção no sentido do raio do produto. Para simplificar o modelo matemático do processo de resfriamento, assumiram-se as seguintes condições:

- As propriedades térmicas do produto (condutividade térmica, difusividade térmica e calor específico) foram consideradas constantes;
- As propriedades térmicas do ar de resfriamento e os coeficientes de transferência de calor foram consideradas constantes;
- Condição de simetria e homogeneidade no corpo da fruta;
- Os efeitos da respiração e transpiração do produto sobre a transferência de calor são desprezíveis;

- A temperatura inicial do corpo apresenta distribuição uniforme.

Com as propriedades físicas (raio da fruta, conteúdo de água, volume e massa), foram calculadas as propriedades térmicas: condutividade térmica ' κ ' (W/m°C), o calor específico ' C_p ' (kJ/kg°C) e a difusividade térmica ' α ' (m².s⁻¹), conforme equações abaixo:

$$\kappa = 0,00493 U + 0,148$$

$$C_p = 0,0335 U + 0,837$$

$$\alpha = 0,088 \times 10^{-6} + [(\alpha_w - 0,088 \times 10^{-6}) \times U / 100]$$

Onde, U refere-se ao conteúdo de água (%), α_w a difusividade térmica da água à temperatura do produto, para 20°C pode-se assumir como $0,148 \times 10^{-6}$ m²/s.

Com base nos dados experimentais foram construídas as curvas de resfriamento e o ajuste ao modelo exponencial e determinados os coeficientes de resfriamento (a) de acordo com as equações:

$$\theta = J e^{-at}$$

$$\theta = (T - T_a) / (T_i - T_a)$$

Onde, o termo θ refere-se ao adimensional de temperaturas, t ao tempo de resfriamento (min), J ao fator de atraso, a é o coeficiente de resfriamento (h⁻¹), T é a temperatura no centro da fruta durante o resfriamento (°C), T_a é a temperatura do ar (°C) e T_i é a temperatura inicial da fruta (°C).

O coeficiente convectivo de transferência de calor, h_c (W/m²°C) e o adimensional número de Biot (Bi), foram calculados através das equações, onde R é o raio médio das goiabas:

$$h_c = (3,2 \cdot \kappa \cdot R \cdot a) / (10,3 \cdot \alpha - a \cdot R^2)$$

$$Bi = h_c \cdot R / \kappa$$

As curvas e ajustes foram elaborados com o auxílio do programa EXCEL, do *Microsoft Office 2007*.

3.9 Avaliação da vida útil pós-colheita

As análises físicas e físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Controle de Qualidade e Secagem do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Ceará. Para todos os experimentos nos quais as goiabas foram armazenadas em câmara de refrigeração, foram coletadas amostras a cada 5 dias de armazenamento até o 20º dia e logo após a cada 2 dias. A vida útil foi determinada quando a nota da avaliação sensorial para o atributo “intenção de compra” apresentou média das notas menor do que 3, “talvez comprasse, talvez não comprasse”. Para o experimento de armazenamento a temperatura ambiente as amostras foram coletadas a cada 2 dias. As análises foram realizadas em três repetições através dos seguintes métodos:

3.9.1 Perda de massa

Para avaliar a perda de massa, foi selecionada uma embalagem de cada experimento e cada caixa contendo 12 goiabas. Os frutos escolhidos foram devidamente marcados com o auxílio de uma etiqueta adesiva, a fim de que permanecessem os mesmos, a cada análise, ao longo de todo o período do experimento. O cálculo da perda de massa foi então realizado aplicando a equação (17) que relaciona a massa inicial com a massa final:

$$\text{Perda de Massa} = [(M_{\text{inicial}} - M_{\text{final}}) / M_{\text{inicial}}] \times 100 \quad (16)$$

O resultado foi expresso em porcentagem, com M = massa do fruto em gramas (SANINO, 2004). Foi utilizada uma balança analógica ARJA, com carga máxima de 5 kg. A pesagem das frutas foi realizada dentro da própria câmara de armazenamento para evitar a condensação de vapor de água.

3.9.2 Firmeza

Definiu-se o índice de firmeza dos frutos medindo-se a força máxima necessária para introdução de uma ponteira a uma profundidade de 10 mm na polpa da goiaba. Realizada

através de penetrômetro de bancada digital, da marca SOILCONTROL, modelo PBDF, tomando-se duas leituras por fruto em lados opostos de sua região de menor diâmetro, a equatorial. Antes de efetuar a medida, foi retirada a casca no local onde foi feita leitura, com o auxílio de uma lâmina metálica. Os resultados foram expressos em Newton (N).

3.9.3 Preparo das amostras

Para a determinação das análises físico-químicas, foram selecionados seis frutos ao acaso por experimento, a cada dia de coleta. Os mesmos foram partidos em quatro partes e triturados em processador (casca + polpa + sementes), visto que a fruta in natura é consumida sem a retirada da casca e sementes. A polpa foi peneirada para retirada de resíduos da casca e semente, acondicionadas em frascos protegidos contra luz e conservadas em freezer.

3.9.4 Acidez Titulável

Determinada através de titulação com solução de NaOH 100 mN utilizando um indicador (fenolftaleína) de ponto de viragem. O cálculo utilizado é apresentado na Equação (17) e o resultado expresso em % de ácido cítrico/100mL, segundo normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005).

$$\text{Acidez (\%)} = \frac{10 \times \text{fator do ácido} \times \text{fator do NaOH} \times \text{Volume NaOH gasto (mL)}}{\text{Peso da Amostra (g)}} \quad (17)$$

3.9.5 Vitamina C

O teor de vitamina C (mg de ácido ascórbico / 100g) foi conforme metodologia descrita por Strohecker e Henning (1967). A determinação do ácido ascórbico através do método de Tillman baseia-se na sua propriedade de redução, medido pela titulação com um agente oxidante, no caso o 2,6-diclorofenolindofenol (DFI), até viragem de azul, sua forma oxidada, rosa claro persistente por 15 segundos.

3.9.6 Sólidos Solúveis

Obtidos através da leitura direta em um refratômetro digital portátil da marca REICHERT, modelo R² mini, a temperatura de 20°C, sendo os resultados expressos em °Brix, conforme recomendações feitas pela (AOAC, 1995). A avaliação deu-se da seguinte forma, colocou-se um pouco de amostra na placa do refratômetro, seguida de leitura direta e em

percentagem e feita a correção dos °Brix pela temperatura da amostra, segundo manual do refratômetro.

3.9.7 pH

O processo utilizado para determinação do pH é o eletrométrico, utilizando-se um pHmetro microprocessado da bancada, da marca QUIMIS, modelo 2400A. As medições foram feitas diretamente sobre as amostras homogeneizadas, conforme técnica descrita pelas normas do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005).

3.9.8 Análise sensorial

Existem diversos tipos de testes sensoriais, o utilizado nesta pesquisa foi um teste subjetivo ou afetivo, o qual mede o quanto uma população gostou de um produto, para avaliar a aceitabilidade ou a preferência, sendo esta representada pelo somatório de todas as percepções sensoriais e expressa o julgamento sobre a qualidade do produto avaliado (DUTCOSKY, 1996).

As goiabas foram submetidas à análise sensorial de aceitação, sendo avaliadas em relação à aparência interna (cor da polpa), aparência externa (cor da casca) e impressão global. Para descrever o grau de aceitação do produto foi utilizada escala hedônica estruturada de 9 pontos, onde 9 representa “gostei muitíssimo”, 5 “nem gostei, nem desgostei” e 1 “desgostei muitíssimo” (MEILGAARD; CIVILLE; CARR, 1991; MINIM, 2006). Na mesma ficha foi incluída a escala de intenção de compra estruturada de 5 pontos, onde 5 corresponde a “certamente compraria” e 1 “certamente não compraria”.

Nos experimentos nos quais os frutos foram acondicionados em câmara de refrigeração, a análise sensorial foi realizada a cada cinco dias, com 30 julgadores não treinados, recrutados verbalmente entre os funcionários e alunos da Universidade Federal do Ceará. Os mesmos foram orientados quanto ao preenchimento da ficha de avaliação. No experimento sob condição ambiente os frutos foram avaliados sensorialmente a cada dois dias.

As goiabas foram apresentadas de forma monádica, ou seja, uma amostra de cada vez, com ordem de apresentação balanceada, de forma a evitar vícios nos resultados (GARRUTI et al., 2003). Servidas em blocos completos casualizados em bandejas de polietileno tereftalato, codificadas com números de três dígitos aleatórios, para avaliação quanto aos atributos de aparência interna, cor da casca e impressão, utilizando escala hedônica de 9 pontos. Na mesma ficha os julgadores expressaram sua opinião quanto à intenção de

compra através de escala hedônica de 5 pontos. A ficha de avaliação (Apêndice 01) foi elaborada com base no modelo apresentado por Queiroz (2006).

As amostras foram entregues aos julgadores partidas ao meio, apresentando a parte interna (polpa) e externa (casca) da fruta, conforme Figura 13.



Figura 13 – Modo de apresentação das goiabas para a avaliação sensorial.

3.9.9 Análise estatística

Para o delineamento experimental a análise estatística foi realizada com o auxílio do programa operacional *Statistica*, versão 7.0, através da metodologia de superfície de resposta (RSM) e os gráficos elaborados pelo próprio programa.

Os coeficientes de regressão para termos lineares, quadráticos e interação foram determinados por regressão linear múltipla (MLR) e a significância de cada coeficiente de regressão foi avaliada estatisticamente pelo valor-t a partir do erro puro obtido das replicatas do ponto central. A análise de variância (ANOVA) foi aplicada para validar o modelo e os coeficientes de regressão foram utilizados para gerar as superfícies de resposta (STATSOFT, 1995).

Os dados de composição química dos frutos foram bastante variáveis nos diferentes experimentos, pois os mesmos não foram colhidos todos no mesmo período. Segundo Borguini, Oetterer e Silva (2003) essas variações podem ser em decorrência dos numerosos fatores de influência, tais como: grau de maturidade do produto, estação de colheita, clima, etc. Além disso, podem ocorrer variações nos níveis de nutrientes no solo e

adubação e localização dos mesmos na goiabeira, o que leva a diferença na incidência da luz solar (QUEIROZ et al., 2008).

Como os frutos foram coletados em períodos diferentes (agosto a dezembro), observou-se variação na composição química dos mesmos, devido a tal fato os experimentos não foram comparados entre si para os dados de perda de massa, firmeza, vitamina C, acidez titulável, sólidos solúveis e pH. Dessa forma, a análise estatística foi realizada por experimento individualmente, as interações significativas pelo teste F da ANOVA foram desdobradas e as médias no decorrer do armazenamento foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade, através do aplicativo computacional *Statistica*, versão 7.0, os gráficos foram elaborados pelo próprio programa.

Os dados sensoriais foram analisados através da análise de variância das características avaliadas pelo programa operacional SISVAR, versão 3.01, sendo a interação entre os fatores determinadas por meio do teste F a 5% de probabilidade. O tempo foi desdobrado dentro de cada experimento e os dados submetidos à regressão. Os gráficos e ajustes foram elaborados com o auxílio do programa Excel, da *Microsoft Office* 2007.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Grandezas físicas

A média do conteúdo de água encontrado foi de $83,68 \pm 3,22$ %, segundo dados publicados por Pereira et al. (2003) para caracterização de goiaba cv. Paluma, o conteúdo de água da fruta foi em média $87,26 \pm 0,48$ %. Por serem valores próximos, demonstra-se confiabilidade no resultado. A média dos valores encontrados por Argandoña, 2005 para goiaba cv. Paluma foi de $88,36 \pm 1,3$ %, superior ao desta pesquisa, Queiroz et al. (2008) encontraram valores de $86,7 \pm 1,1$ % de conteúdo de água para a cultivar Pedro Sato.

A massa média dos frutos foi de $151,92 \pm 11,05$ g, superior a encontrada por Cardoso (2005), que obteve média de 139,2 g e semelhante ao encontrado por Pereira (2009), com média de $153,54 \pm 18,54$ g, ambos para a mesma cultivar utilizada nesta pesquisa. Freitas et al. (2008) encontraram valores variando de 161,97 a 196,92 g, também, para goiaba 'Paluma'. Segundo Choudhury et al. (2001), frutos com peso superior a 150 g são os mais comercializáveis, estando então os frutos avaliados com padrão de massa dentro dos padrões do comércio. A massa média dos frutos é uma característica importante, pois, em geral, os frutos de maior massa, são também os de maior tamanho e mais atrativos ao consumidor (LIMA; ASSIS; DURIGAN, 2002).

Vieira et al. (2008) avaliaram as características físicas de goiabas submetidas a experimento hidrotérmico, apresentando valor médio de $172,19 \pm 9,05$ para o parâmetro da massa. Lima, Assis e Gonzaga Neto (2002) caracterizaram goiabas de diferentes cultivares e a média da massa de goiaba Paluma foi de 104,8 g. Pereira, Carvalho e Nachtigal (2003) encontraram média de 187,6 g para esta mesma cultivar.

A média do diâmetro transversal encontrada foi de $6,26 \pm 0,32$ cm e do diâmetro longitudinal foi de $7,56 \pm 0,45$ cm, valores semelhantes aos de Pereira (2009), cuja média encontrada foi de $6,22 \pm 0,33$ cm e $7,87 \pm 0,54$ cm, respectivamente. Lima, Assis e Gonzaga Neto (2002) encontraram, para a mesma cultivar, valores inferiores com média de 5,57 cm e 6,29 cm para o diâmetro transversal e longitudinal, respectivamente. Pereira, Carvalho e Nachtigal (2003) encontraram valores de 6,9 cm e 8,1 cm para os mesmos parâmetros. Os valores obtidos para as grandezas conteúdo de água, massa, diâmetro transversal e diâmetro longitudinal estão apresentados na Tabela 05:

Tabela 05 – Valores médios e desvio padrão de conteúdo de água, massa, diâmetro transversal e diâmetro longitudinal de goiaba cv. Paluma.

Experimentos	U (%)	m (g)	Ø transv (cm)	Ø long (cm)
E01	82,96 ± 0,52	159,98 ± 9,11	5,83 ± 0,30	7,15 ± 0,25
E02	82,25 ± 0,13	153,02 ± 16,21	6,20 ± 0,31	7,89 ± 0,45
E03	79,79 ± 14,52	153,02 ± 16,21	6,47 ± 0,41	7,69 ± 0,67
E04	82,08 ± 10,21	159,98 ± 9,11	6,33 ± 0,54	7,44 ± 0,92
E05	82,25 ± 0,13	153,02 ± 16,21	6,70 ± 0,76	8,15 ± 0,58
E06	87,92 ± 0,11	153,02 ± 16,21	6,49 ± 0,83	8,06 ± 0,49
E07	88,12 ± 22,79	153,02 ± 16,21	6,50 ± 0,50	8,04 ± 0,65
E08	82,96 ± 0,52	159,98 ± 9,11	5,67 ± 0,18	6,92 ± 0,43
E09	83,73 ± 1,93	121,12 ± 13,63	5,93 ± 0,37	6,92 ± 0,46
E10	79,79 ± 14,52	153,02 ± 16,21	6,51 ± 0,45	7,59 ± 0,91
E11	87,92 ± 0,11	159,98 ± 9,11	6,26 ± 0,54	7,30 ± 0,92
Média	83,68 ± 3,22	151,92 ± 11,05	6,26 ± 0,32	7,56 ± 0,45

U = conteúdo de água; m = massa; Ø transv. = diâmetro transversal; Ø long. = diâmetro longitudinal.

4.2 Resfriamento rápido por ar forçado

Para as goiabas resfriadas com ar forçado nas diferentes condições aplicadas, verifica-se que o tempo de resfriamento variou entre 62,0 e 96,5 minutos até que a temperatura média dos termopares inseridos nas frutas atingisse a média de temperatura ideal de armazenamento (8,2 °C). A velocidade do ar do processo de resfriamento rápido foi medida e considerou-se a média obtida nas quatro colunas de embalagens. Os valores médios da área de abertura (%), velocidade do ar (m/s), vazão de ar (L/s) e tempo de resfriamento (minutos), em todos os experimentos de resfriamento rápido por ar forçado estão apresentados na Tabela 06.

Tabela 06 – Medidas da área de abertura das embalagens, velocidade e vazão do ar e tempo de resfriamento do resfriamento rápido por ar forçado de goiaba cv. Paluma.

Experimentos	A_{abertura} (%)	v_{ar} (m/s)	vazão_{ar} (L/s)	t (min)
E01	9,56	4,2 ± 0,8	10,13	77
E02	3,19	2,9 ± 0,5	2,33	66
E03	9,56	2,9 ± 0,3	7,00	65
E04	3,19	2,9 ± 0,6	2,33	69
E05	6,37	1,9 ± 0,1	3,06	66
E06	6,37	1,7 ± 0,0	2,73	97
E07	6,37	2,0 ± 0,3	3,22	87
E08	1,77	0,7 ± 0,4	0,34	88
E09	10,98	3,9 ± 0,3	10,80	62
E10	6,37	1,6 ± 0,1	2,57	79
E11	6,37	4,0 ± 0,5	6,43	65

A_{abertura} = área de abertura das embalagens; v_{ar} = velocidade do ar; vazão_{ar} = vazão do ar; t = tempo.

Sabe-se que quanto maior a velocidade do ar empregada no sistema de resfriamento rápido com ar forçado, menor será o tempo de resfriamento. Através dos dados verificou-se que o experimento E09, no qual foi aplicada a maior área de abertura (10,98 %), a velocidade do ar foi de 3,9 m/s e obteve a maior vazão de ar, de 10,80 L.s⁻¹. Para este experimento o tempo de resfriamento rápido foi o menor, de 62 minutos. Isto ocorreu porque quanto maior o volume de ar frio que passa pelo produto, mais rapidamente o produto vai resfriar, pois a quantidade de ar que passa através das caixas afeta diretamente a taxa de transferência de calor do produto para o ar (ANTONIALI, 2000).

O resultado obtidos no experimento E09 foi esperado, como já comprovado por Odinino e Teruel (2003) ao aplicar resfriamento rápido com ar forçado em goiabas da cultivar Kumagai, utilizando embalagens plásticas e de papelão com 24,8 % e 5,6 % da área de abertura, respectivamente. Os frutos resfriados em caixas plásticas atingiram o tempo ⁷/₈ de resfriamento 36 minutos mais rápido do que as em caixa de papelão, os respectivos tempos foram de 58 e 94 minutos.

Apesar do mesmo experimento, possuir a maior área de abertura das embalagens, sua velocidade não foi a maior entre demais experimentos, tal fato deve ter ocorrido devido à distribuição dos furos nas caixas, pois a mesma possuía cinco furos (um com $\varnothing = 3,2$ cm e quatro com $\varnothing = 2,5$), Dússan-Sarria e Honório (2005), afirmam que a quantidade das áreas de

abertura e a forma que as mesmas são distribuídas garantem a uniformidade do resfriamento. Os processos que apresentaram velocidades do ar mais altas foram o E01 com 4,2 m/s e o E11, com 4,0 m/s, com áreas de abertura laterais de 9,56 % e 6,37 % e tempo de resfriamento de 77 e 65 minutos, respectivamente. As caixas do primeiro apresentavam três furos de $\varnothing = 3,2$ cm e as caixas do segundo dois furos de $\varnothing = 3,2$ cm. No entanto, ambos experimentos não apresentam as maiores vazões de ar, cujos valores foram de $10,13 \text{ L.s}^{-1}$ para o E01 e $6,43 \text{ L.s}^{-1}$ para o E11.

O experimento (E08) ao qual foi aplicada a menor área de abertura (1,77 %) apresentou a menor velocidade do ar, de 0,7 m/s e tempo de resfriamento de 88 minutos, tal abertura encontra-se abaixo da recomendada por Carmo (2004) e Dússan-Sarria e Honório (2005), os autores sugerem que as embalagens tenham, no mínimo, 5 % da área efetiva para a passagem do ar resfriado. O mesmo experimento apresentou a menor vazão de ar ($0,34 \text{ L.s}^{-1}$), o resultado foi esperado, visto que quanto menor a área de abertura das embalagens, menor a velocidade do ar e menor a vazão de ar.

Arifin e Chau (1998) e Teruel et al. (2008) recomendam que em resfriamento rápido com ar forçado a vazão de ar seja de 1 a $6 \text{ L.s}^{-1}/\text{kg}$ de produto a ser resfriado e que vazão acima da recomendada pode provocar aumento da transferência de massa, refletindo em perda de massa dos produtos. Diante disto observa-se que os experimentos E01 e E09 apresentaram vazão de ar acima da recomendada e o experimento E08 bem abaixo da sugerida pelos autores.

As médias das temperaturas iniciais e finais foram de $22,4 \pm 2,7^\circ\text{C}$ e $8,2 \pm 0,4^\circ\text{C}$, respectivamente, as temperaturas para cada uma das onze condições de resfriamento rápido avaliadas são apresentadas no Apêndice 02.

Para cada ensaio foi construída a curva dos valores experimentais, as quais foram representadas graficamente em função da taxa adimensional de temperatura a partir dos cálculos efetuados com base na equação (6) e confrontada em uma mesma figura com a curva teórica. Para demonstração da curva e dos procedimentos de cálculo dos principais parâmetros teóricos de transferência de calor da goiaba, será usado como exemplo o experimento E09 (resfriamento rápido de goiaba embalada em caixa de papelão com área de abertura de 10,98% e 28 horas e 15 minutos após a colheita).

A variação da temperatura experimental através do tempo apresentada na figura refere-se ao valor médio dos termopares inseridos nas frutas e distribuídos em todas as caixas das pilhas de embalagens. Figura 14 apresenta a curva de resfriamento experimental do

experimento E09 e o ajuste exponencial dos dados experimentais com sua respectiva equação de ajuste e coeficiente de determinação.

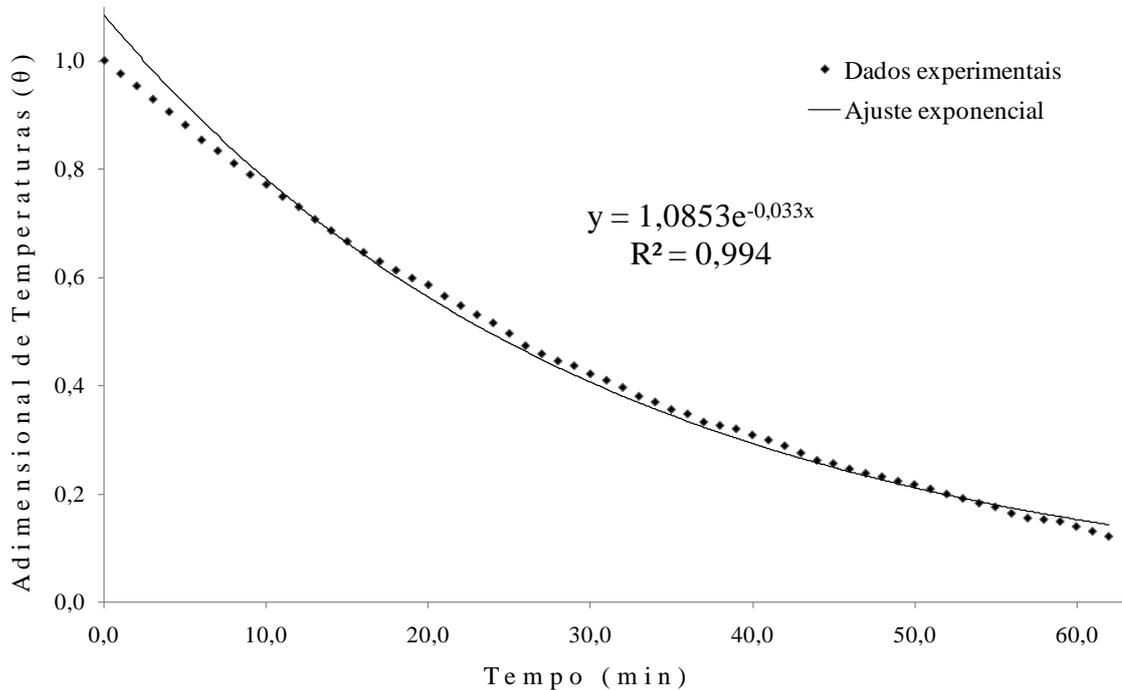


Figura 14 – Variação da temperatura durante resfriamento rápido de goiaba cv. Paluma, do experimento E09, embalado em caixa de papelão com área de abertura de 10,98% e 28 horas e 15 minutos após a colheita.

Pode-se observar que a curva exibe típico comportamento exponencial, a temperatura média dos frutos apresenta uma queda rápida no início do resfriamento rápido e lenta quando está próxima da temperatura final. Dússan-Sarria (2003) aplicou resfriamento rápido por ar forçado em figos e encontrou curvas com o mesmo comportamento para todos os experimentos aplicados. O mesmo comportamento da curva foi encontrado por Teruel et al. (2001), na aplicação de resfriamento rápido por ar forçado na laranja e banana. Bem como por Lima et al. (2008), Rocha et al. (2008) e Siqueira et al. (2008) no resfriamento rápido com ar forçado em cajá, acerola e goiaba, respectivamente.

Através do ajuste exponencial dos valores experimentais de resfriamento encontrou-se valor alto do coeficiente de determinação, como no exemplo do experimento E09, cujo valor foi $R^2 = 0,994$ indicando que o modelo exponencial representa adequadamente o comportamento do resfriamento rápido de goiaba, dando mais confiabilidade no resultado do coeficiente de resfriamento (a).

O coeficiente de resfriamento (a) foi obtido através da equação exponencial da curva, cujo valor foi de $0,033 \text{ min}^{-1}$ ($5,50 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$), como mostra a equação (18).

$$\theta = 1,0853e^{-0,033t} \quad (18)$$

No Apêndice 03 observam-se as equações exponenciais obtidas, as quais foram utilizadas para representar graficamente as curvas de resfriamento, e seus coeficientes de determinação.

Com os dados das propriedades térmicas do fruto, tais como condutividade térmica (κ) e difusividade térmica (α); do raio (R) e do coeficiente de resfriamento (a), foi possível calcular o coeficiente convectivo de transferência de calor (hc) através da Equação (4) e, a partir disso, o número de *Biot*, utilizando a Equação (13).

Os valores de condutividade térmica (κ) variaram de 0,54 a 0,58 W/m°C (Tabela 08), semelhantes aos encontrados por Dússan-Sarria (2003) no resfriamento rápido por ar forçado de figo que foi de 0,56 W/m°C e por SWEAT (1974), que encontrou 0,581 W/m°C em resfriamento rápido de pêsego e 0,595 W/m°C de pêra. Siqueira et al. (2008) encontraram em goiaba da cultivar Paluma $\kappa = 0,59$ W/m°C. Rocha et al. (2008) encontraram valor de 0,59 W/m°C em acerola e Lima et al. (2008) valor de 0,4 W/m°C em cajá.

A média do calor específico para os onze experimentos foi de $3,66 \pm 0,11$ kJ / kg°C (Tabela 07). O valor encontrado por Dussán-Sarria e Honório (2004) desta propriedade para figo foi de 4,07 kJ / kg°C. Silva et al. (2002) encontrou valor de 3,52 kJ/kg°C para cajá. Valores próximos aos encontrados na presente pesquisa.

Para a propriedade difusividade térmica, a média dos valores encontrados para a goiaba Paluma foi de $1,38 \pm 0,02 \times 10^{-7}$ m².s⁻¹. Silva et al. (2002), Dussán-Sarria e Honório (2004) encontraram valores de $1,36 \pm 0,05 \times 10^{-7}$ m².s⁻¹ e $1,56 \times 10^{-7}$ m².s⁻¹ em cajá e figo, respectivamente. Sabe-se que quanto maior o conteúdo de água, maior a difusividade térmica (DUSSÁN-SARRIA; HONÓRIO, 2004), pode-se observar, através dos dados apresentados na Tabela 07, que os experimentos que apresentaram maiores conteúdos de água, apresentaram, também, maior difusividade térmica.

O significado físico da difusividade térmica está associado à difusão de calor dentro do produto durante as mudanças da temperatura no decorrer tempo, logo um elevado valor desta propriedade significa uma rápida transferência do calor dentro do produto e pouco tempo para o calor sair do corpo (DINCER, 1995).

Tabela 07 – Propriedades térmicas de goiaba cv. Paluma.

Experimentos	U (%)	κ (W/m²°C)	C_p (kJ/kg° C)	α (x 10⁻⁷ m²/s)
E01	82,96	0,56	3,62	1,38
E02	82,25	0,55	3,59	1,37
E03	79,79	0,54	3,51	1,36
E04	82,08	0,58	3,78	1,41
E05	82,25	0,55	3,59	1,37
E06	87,92	0,58	3,78	1,41
E07	88,12	0,58	3,79	1,41
E08	82,96	0,56	3,62	1,38
E09	83,73	0,56	3,64	1,38
E10	79,79	0,54	3,51	1,36
E11	87,92	0,58	3,78	1,41

U = conteúdo de água; κ = Condutividade térmica; C_p = Calor específico; α = Difusividade térmica

Quando os frutos são expostos a alta velocidade do ar, como no caso do resfriamento rápido por ar forçado, o processo de transferência de calor é mais intenso, refletindo em maiores valores de coeficiente convectivo de transferência de calor (hc). O experimento E09, com área de abertura de 10,98 %, maior coeficiente de resfriamento, $5,50 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$, consequentemente maior coeficiente convectivo de transferência de calor e número de Biot, cujos valores foram de $37,06 \text{ W/m}^2\text{°C}$ e 2,12, respectivamente.

No experimento E08, ao qual foi aplicada a menor área de abertura (1,77%), a velocidade do ar foi menor, 0,7 m/s, o resfriamento rápido foi menos eficiente, resultando em um baixo coeficiente de resfriamento ($3,83 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$) e menor valor do coeficiente convectivo de transferência de calor ($20,71 \text{ W/m}^2\text{°C}$). No referido experimento o tempo de resfriamento foi elevado, de 88,0 minutos. O número de *Biot* foi também o menor (1,17), valores baixos deste parâmetro refletem em uma baixa intensidade no processo de transferência de calor, segundo Teruel et al. (2001).

A área de abertura embalagem do experimento é considerada inadequada para realizar o resfriamento rápido com ar forçado, pois, como já mencionado anteriormente, as mesmas devem ter, no mínimo, 5% da área de abertura. Dússan-Sarria (2003) afirma que não adianta projetar um sistema de resfriamento de ar forçado com parâmetros eficientes, se as embalagens são inadequadas para este tipo de sistema. Binotti (2000) aplicou resfriamento por ar forçado em morangos e para velocidade do ar igual 0,8 m/s, encontrou valores de $hc < 20$

W/m²°C, valor semelhante ao encontrado neste experimento quando a velocidade foi a mesma.

Siqueira et al. (2008), aplicaram resfriamento rápido por ar forçado em goiaba cv. Paluma em embalagens com 16,5 % da área de abertura. O tempo de resfriamento de 21,7 °C até 10 °C foi de 30 minutos. A velocidade média do ar foi 3,8 m/s e o $hc = 18,62$ W/m²°C.

A Tabela 08 apresenta os dados obtidos do coeficiente de resfriamento, coeficiente convectivo de transferência de calor e número de *Biot* para as onze condições de resfriamento rápido por ar forçado.

Tabela 08 – Parâmetros do resfriamento rápido por ar forçado de goiaba nas diferentes condições apresentadas.

Experimentos	A_{abertura} (%)	<i>a</i> (x10⁻⁴ s⁻¹)	<i>hc</i> (W/m²°C)	<i>Bi</i>
E01	9,56	4,83	30,74	1,79
E02	3,19	4,17	28,96	1,85
E03	9,56	4,67	35,10	2,29
E04	3,19	4,67	32,97	2,05
E05	6,37	4,50	29,32	1,78
E06	6,37	4,17	31,40	1,96
E07	6,37	4,50	35,56	2,22
E08	1,77	3,83	20,71	1,17
E09	10,98	5,50	37,06	2,12
E10	6,37	4,00	27,09	1,77
E11	6,37	4,33	28,74	1,68

A_{abertura} = área de abertura das embalagens; *a* = Coeficiente de resfriamento; *hc* = Coeficiente convectivo de transferência de calor; *Bi* = Número de *Biot*.

4.3 Delineamento experimental

Devido a grande cultivar inerente aos testes que envolvem frutas, foram considerados significativos os parâmetros com *p*-valores menores que 10 % ($p < 0,1$). A Tabela 09 apresenta os valores experimentais das variáveis resposta (dependentes): vida útil

(dias), coeficiente convectivo de transferência de calor ($W/m^2\text{°C}$) e tempo de resfriamento (min).

Tabela 09 – Resultados das variáveis resposta do resfriamento rápido por ar forçado de goiaba cv. Paluma.

Experimento	Variáveis Independentes				
	A abertura (%)	t colheita/resf (h/min)	Vida útil (dias)	hc ($W/m^2\text{°C}$)	t resf. (min)
E01	9,56	31 h 15 min	28	30,74	68,5
E02	3,19	31 h 15 min	26	28,96	65,5
E03	9,56	24 h 15 min	28	35,10	65,0
E04	3,19	24 h 15 min	28	32,97	77,0
E05	6,37	28 h 15 min	28	29,32	88,0
E06	6,37	28 h 15 min	28	31,40	62,0
E07	6,37	28 h 15 min	28	35,56	79,0
E08	1,77	24 h 15 min	28	20,71	65,0
E09	10,98	24 h 15 min	28	37,06	66,0
E10	6,37	24 h	32	27,09	96,5
E11	6,37	32 h 30 min	26	28,74	86,5

A abertura = área de abertura; t colheita/resf = tempo entre colheita e resfriamento rápido; hc = coeficiente convectivo de transferência de calor; t resf. = tempo de resfriamento.

4.3.1 Vida útil

Para a variável resposta “vida útil” somente o coeficiente linear da variável “tempo entre colheita e resfriamento” foi significativo no teste t-Student em nível de significância de 0,10. Este resultado sugere a influência do tempo entre a colheita e a aplicação do resfriamento rápido na vida útil de goiaba, quanto menor esse tempo, maior será a vida útil do produto. A Tabela 10 apresenta os coeficientes de regressão, erro padrão e *p*-valores para esta variável.

Tabela 10 – Coeficientes de regressão, erro padrão e p -valores da variável resposta vida útil no resfriamento rápido por ar forçado de goiaba cv. Paluma.

Fonte de variação	Coef. de regressão	Erro padrão	t	p
Média	46,456 ^{NS}	37,33	1,24	0,27
A abertura (L)	-0,647 ^{NS}	1,82	-0,36	0,74
t colheita/resf (L) **	-0,034 **	0,06	-0,61	0,57
A abertura (Q)	-0,808 ^{NS}	2,56	-0,31	0,77
t colheita/resf (Q)	0,003 ^{NS}	0,05	0,07	0,95
A abertura x t colheita/resf	0,041 ^{NS}	0,06	0,69	0,52

$R^2 = 0,628$; (L) Termos lineares; (Q) Termos quadráticos;

** = efeitos significativos a um nível de significância para teste-t: 0,10; NS = não significativo;

A abertura = área de abertura; t colheita/resf = tempo entre colheita e resfriamento rápido.

Os resultados obtidos na análise de variância (ANOVA) estão apresentados no Apêndice 04. Através da indicação gráfica apresentada na Figura 15, pode-se observar que não foi possível validar o modelo.

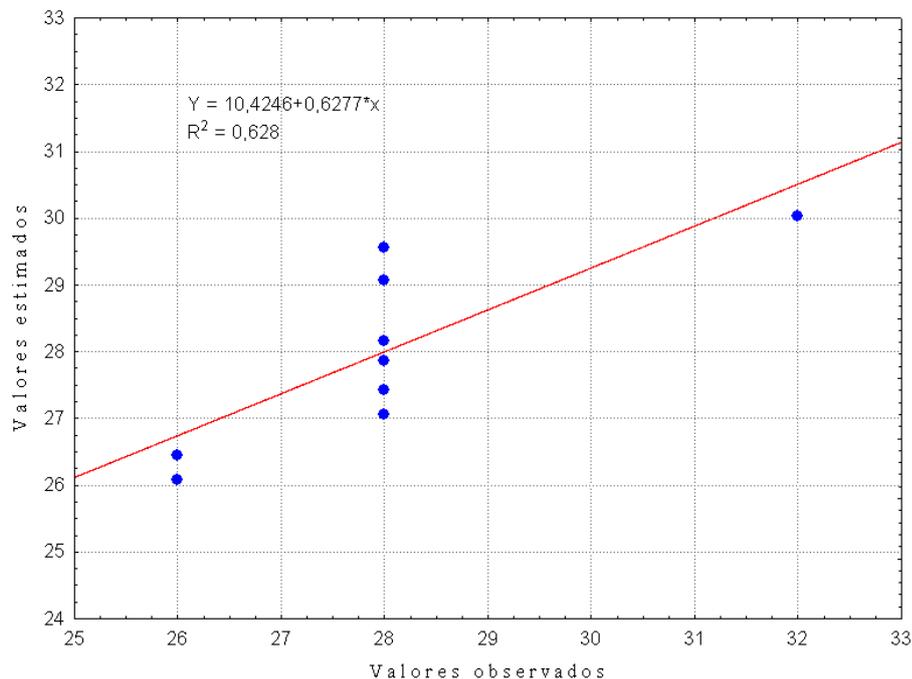


Figura 15 – Gráfico da vida útil predita vs. observada do resfriamento rápido de goiaba cv. Paluma.

A Figura 16 apresenta a superfície de resposta gerada pelo modelo da variável independente vida útil (dias) em relação às variáveis independentes: área de abertura das embalagens (%) e tempo entre colheita e resfriamento (horas). Percebe-se que quanto menor o

tempo para a aplicação do resfriamento rápido, maior a vida útil do produto. Confirmando, assim, que quanto antes um produto vegetal atingir a sua temperatura ideal de estocagem, maior será a vida útil pós-colheita, como já concluído por Spagnol e Sigrist (1992); Teruel et al. (2002a); Hardenburg, Watada e Wang (1990) e Sun e Brosnam (2001).

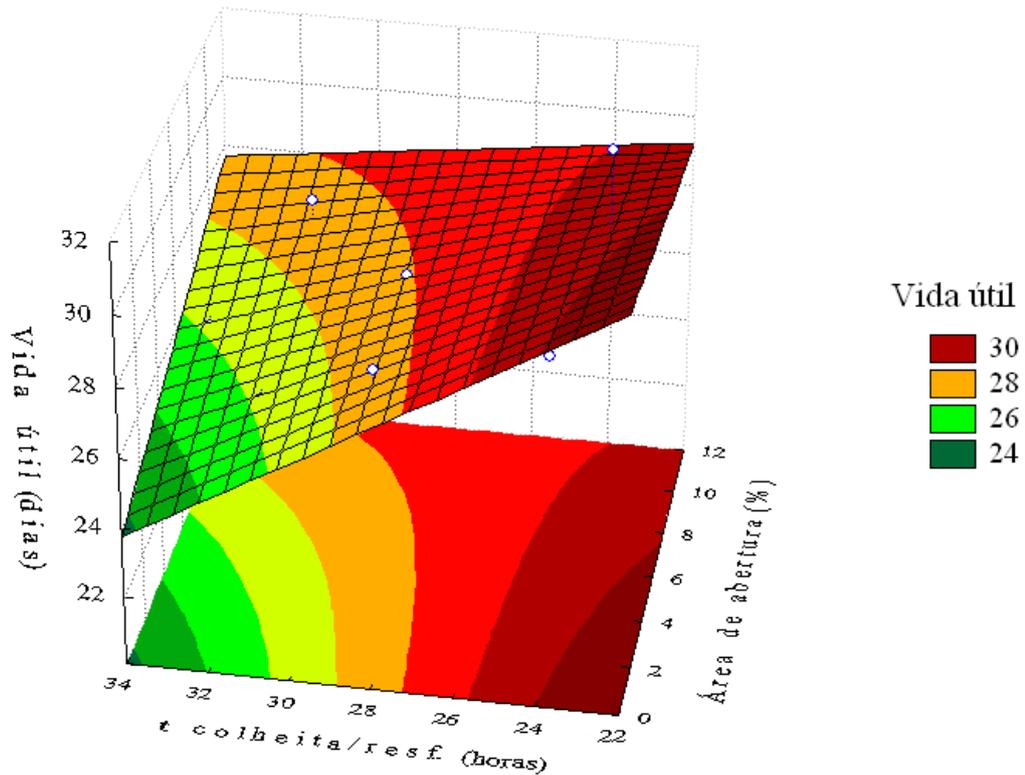


Figura 16 – Superfície de resposta da vida útil (dias) em função do tempo entre colheita e resfriamento (horas) e área de abertura das embalagens (%).

4.3.2 Coeficiente convectivo de transferência de calor

Através do teste t-Student, para a variável resposta “coeficiente convectivo de transferência de calor” (hc) só foi significativa em nível de 0,10 o termo linear da variável “área de abertura”, conforme apresentado na Tabela 11. Sendo possível concluir que a área de abertura exerce influência no hc .

Tabela 11 – Coeficientes de regressão, erro padrão e p -valores da variável resposta coeficiente convectivo de transferência de calor no resfriamento rápido por ar forçado de goiaba cv. Paluma.

Fontes de variação	Coefficiente de regressão	Erro padrão	t	p
Média	-26,72 ^{NS}	129,38	-0,21	0,84
A abertura (L) *	1,27 **	6,31	0,20	0,85
t colheita/resf (L)	-0,07 ^{NS}	0,19	-0,34	0,75
A abertura (Q)	3,90 ^{NS}	8,89	0,44	0,68
t colheita/resf (Q)	-0,08 ^{NS}	0,16	-0,49	0,65
A abertura x t colheita/resf	0,02 ^{NS}	0,21	0,11	0,92

$R^2 = 0,491$; (L) Termos lineares; (Q) Termos quadráticos;

** = efeitos significativos a um nível de significância para teste-t: 0,10; NS = não significativo;

A abertura = área de abertura; t colheita/resf = tempo entre colheita e resfriamento rápido.

Os resultados obtidos na análise de variância (ANOVA) estão apresentados no Apêndice 05. Através da indicação gráfica apresentada na Figura 17, pode-se observar que não foi possível validar o modelo.

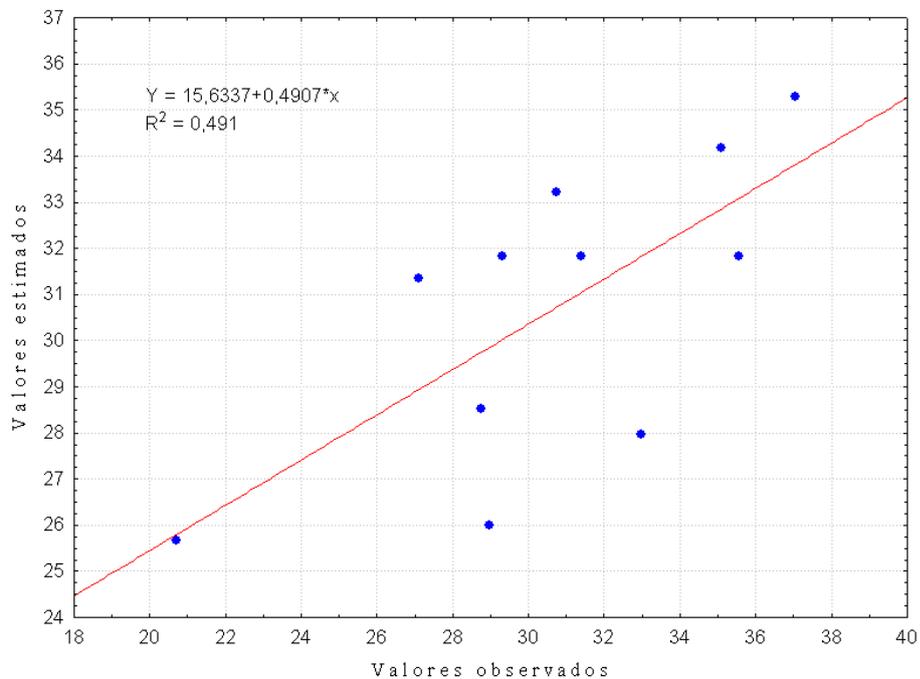


Figura 17 – Gráfico coeficiente convectivo de transferência de calor predito vs. observado do resfriamento rápido de goiaba cv. Paluma.

Sabe-se que quanto maior for a área de superfície exposta, maior vai o coeficiente convectivo de transferência de calor, como afirmado por Vissotto, Kieckbush e Neves Filho (1999). Segundo Ashrae (1993), o resfriamento com ar forçado de produtos hortícolas depende da velocidade de ar e das condições termodinâmicas do ar circundante, os resultados encontrados condizem com o previsto, pois quanto maior a área de abertura, maior a vazão do ar circundante e, conseqüentemente, maior coeficiente de resfriamento e, portanto, maior coeficiente convectivo de transferência de calor.

A Figura 18 apresenta a superfície de resposta gerada pelo modelo da variável independente coeficiente convectivo de transferência de calor (h_c), confirmando os estudos realizados pelos autores acima citados. Para esta variável dependente só foi significativa o termo linear da variável área de abertura, com p-valor $< 0,1$. Segundo a figura, percebe-se que quanto maior a área de abertura das embalagens, maior o coeficiente convectivo de transferência de calor (h_c).

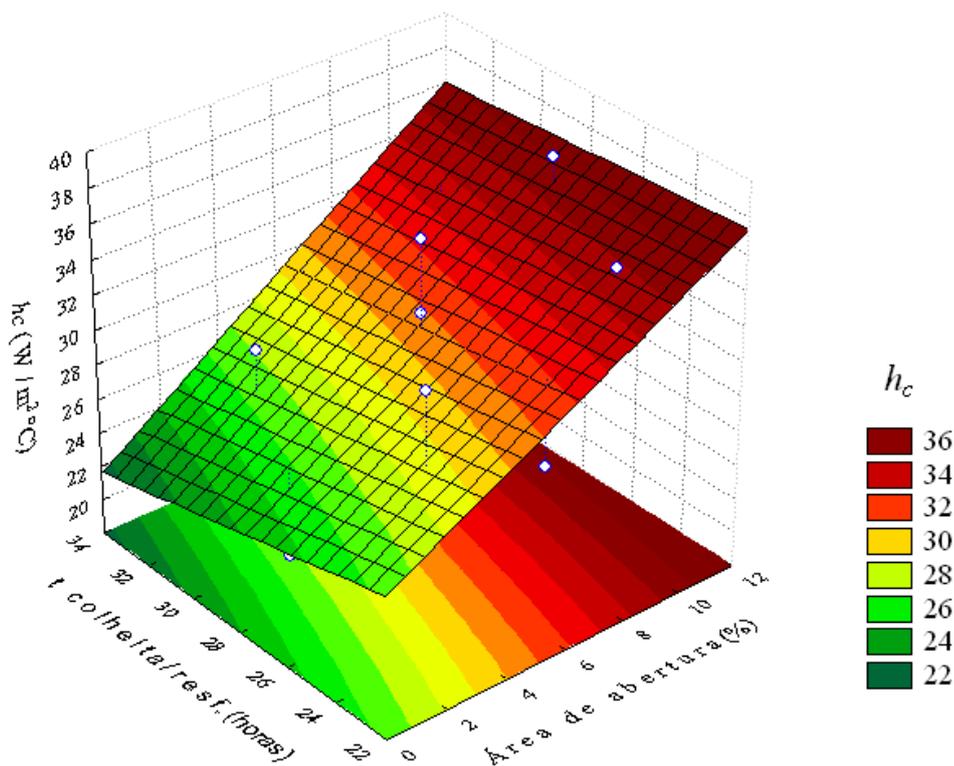


Figura 18 – Superfície de resposta do coeficiente convectivo de transferência de calor ($W/m^2\text{°C}$) em função do tempo entre colheita e resfriamento (horas) e área de abertura das embalagens (%).

O experimento E09 com maior área de abertura, o mesmo apresentou o maior valor de $h_c = 37,06 W/m^2\text{°C}$ e o E08 com menor área apresentou o menor valor de $h_c = 20,71$

W/m²°C. Para os demais experimentos a média deste parâmetro foi de $31,10 \pm 2,94$ W/m²°C. Dússan-Sarria (2003) e Thompson et al. (1998) afirmam que o tipo de embalagem, dimensões, área de abertura e o tipo de arranjo das mesmas no resfriamento também influenciam nos valores deste parâmetro.

4.3.3 Tempo de resfriamento

Quanto à variável tempo de resfriamento, pode-se observar no teste t-Student que nenhuma das fontes de variação, nem a interação entre elas apresentou diferença significativa em nível de 0,10 (Tabela 12), constatando, assim, que o modelo não se ajustou à variável. Os resultados obtidos na análise de variância (ANOVA) estão apresentados no Apêndice 06.

Tabela 12 – Coeficientes de regressão, erro padrão e *p*-valores da variável resposta tempo de resfriamento no resfriamento rápido por ar forçado de goiaba cv. Paluma.

Fonte de variação	Coefficiente de regressão	Erro padrão	t	<i>p</i>
Média	-333,79 ^{NS}	365,14	-0,91	0,40
A abertura (L)	-1,81 ^{NS}	17,80	-0,10	0,92
t colheita/resf (L)	-0,52 ^{NS}	0,54	-0,97	0,38
A abertura (Q)	30,82 ^{NS}	25,08	1,23	0,27
t colheita/resf (Q)	-0,59 ^{NS}	0,44	-1,32	0,24
A abertura X t colheita/resf	0,26 ^{NS}	0,58	0,45	0,67

R² = 0,373; (L) Termos lineares; (Q) Termos quadráticos;

** = efeitos significativos a um nível de significância para teste-t: 0,10; NS = não significativo;

A_{abertura} = área de abertura; t_{colheita/resf} = tempo entre colheita e resfriamento rápido.

Concluiu-se que as especificações do modelo não estão satisfeitas para a variável dependente “tempo de resfriamento”. Através da indicação gráfica apresentada na Figura 19, pode-se comprovar que o modelo não se ajustou à citada variável resposta.

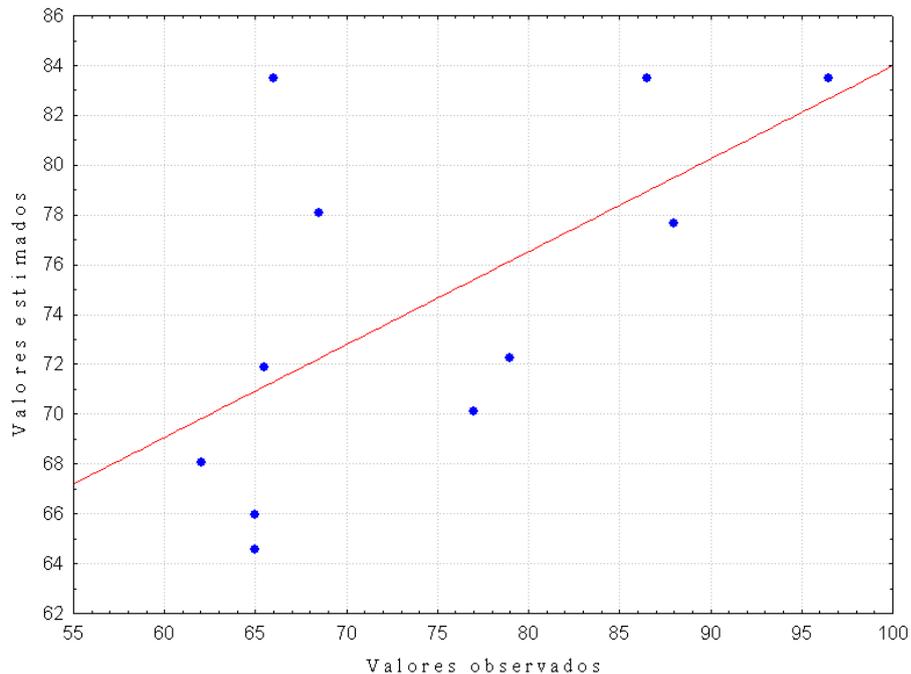


Figura 19 - Gráfico tempo de resfriamento predito vs. observado do resfriamento rápido de goiaba cv. Paluma.

Neste primeiro planejamento não foi possível determinar a condição otimizada para nenhuma das variáveis de resposta, fazendo-se necessário, em futuras pesquisas, elaborar outro planejamento experimental alterando-se a faixa de estudo de cada variável.

4.4 Avaliação da vida útil pós-colheita da goiaba

4.4.1 Perda de massa

A perda de massa foi crescente durante o amadurecimento para todos os experimentos, chegando no 28º dia da vida útil a um valor mínimo de $4,33 \pm 1,84$ % para o experimento E05 e máximo de $11,00 \pm 0,98$ % para o E11, em relação à massa inicial dos frutos. Os valores encontrados na presente pesquisa foram menores que o encontrado por Pereira (2005), que avaliou goiaba cv. Cortibel a $8 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de 88 ± 2 % e a perda de massa foi de 24,10 %, detectada no 29º dia pós-colheita.

A perda de massa é um dos principais problemas durante o armazenamento de vegetais devido ao processo de transpiração, causando o amolecimento de tecidos, tornando os frutos mais susceptíveis à deterioração (AZOLLINI, 2002).

Os frutos utilizados nos experimentos E02, E03, E05, E06, E07 e E10 foram colhidos no período de agosto a outubro, os demais experimentos foram realizados no período de novembro e dezembro. Através do gráfico apresentado na Figura 20 pode-se observar que os frutos colhidos no período de agosto a outubro apresentaram as menores perdas de massa, não apresentando diferença significativa entre si no nível de 5 % entre os mesmos experimentos. A análise de variância encontra-se no Apêndice 07a.

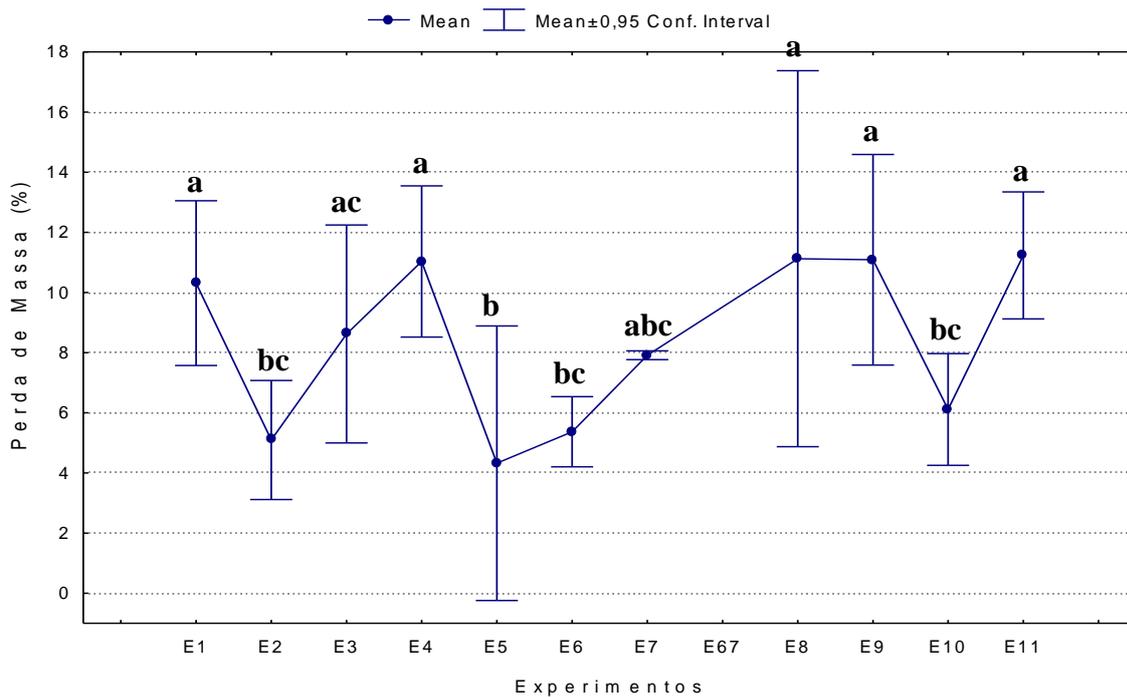


Figura 20 – Média, desvio padrão e teste de Tukey da perda de massa (%) de goiaba cv. Paluma das onze condições de resfriamento rápido no 28º dia de armazenamento a $8 \pm 3^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $90 \pm 3\%$ (Letras diferentes indicam diferença a 5 % de significância).

Comparando cada experimento isoladamente, o que mostrou melhores resultados para este parâmetro foi E05, o qual não apresentou diferença significativa no nível de 95 % durante os 28 dias de armazenamento. Os experimentos E06 e E07 foram realizados nas mesmas condições, no E06 a perda de massa apresentou-se de foram similar, sem diferença significativa a partir do 15º dia de armazenamento, e o E07 não apresentou diferença significativa entre o 15º ao 24º e entre o 26º e 28º dia de armazenamento. O Apêndice 08 apresenta as médias, desvios padrão e teste de Tukey para os 11 experimentos de resfriamento rápido.

Segundo Antunes, Duarte Filho e Souza (2003), a perda de massa de frutos armazenados ocorre em decorrência da água eliminada por transpiração causada pela

diferença de pressão de vapor entre o fruto e o ar no ambiente, além dos processos metabólicos resultantes da respiração.

As frutas submetidas ao resfriamento lento apresentaram uma média de $6,38 \pm 1,87$ % no 26º dia de armazenamento. É conhecida a capacidade do armazenamento refrigerado reduzir a transpiração, podendo-se comprovar tal fato observando que os frutos armazenados sob condição ambiente (27°C) foi encontrado uma média de $15,69 \pm 2,30$ % no 9º dia de armazenamento, valor superior a todas as goiabas armazenadas sob refrigeração a $8 \pm 3^\circ\text{C}$ e 90 ± 3 % de umidade relativa (submetidas ou não ao resfriamento rápido), cuja média foi de $7,55 \pm 2,69$ % no 26º dia de armazenamento, como pode ser observado na Figura 21. Pode concluir que o incremento da perda de massa é menor em frutos armazenados sob refrigeração, podendo tal fato ser atribuído ao baixo metabolismo associado à baixa transpiração exercida pelo fruto.

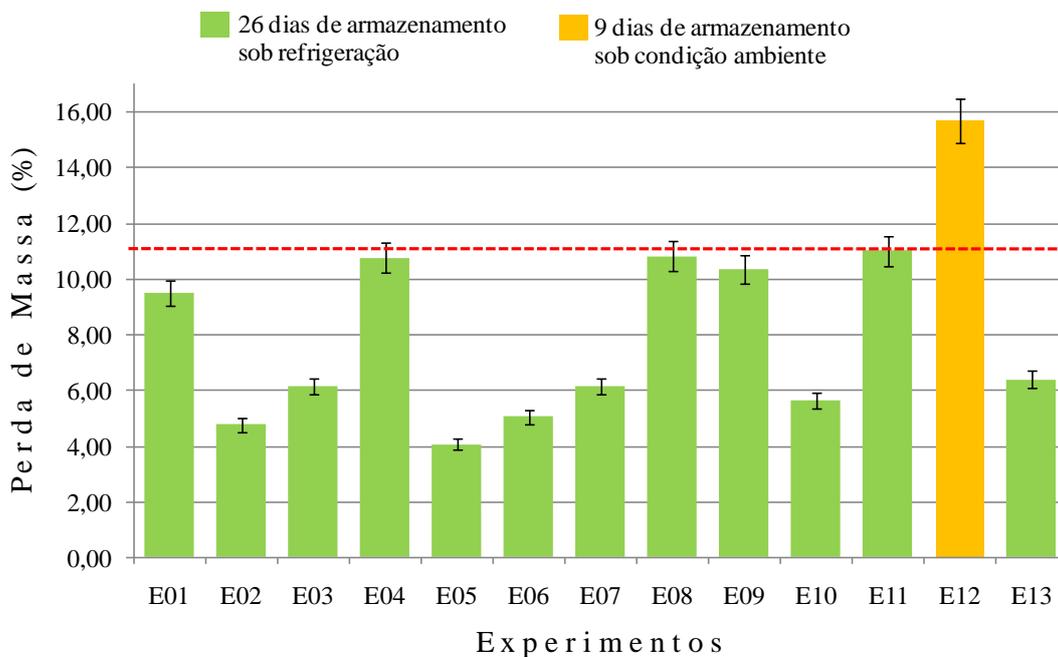


Figura 21 – Gráfico da média e desvio padrão da perda de massa (%) de goiaba cv. Paluma.

A média de perda de massa encontrada por Azollini (2002) foi de 3,5 % no 8º dia de armazenamento de goiaba ‘Pedro Sato’ armazenadas a $25 \pm 1^\circ\text{C}$ e 85 ± 5 % de umidade relativa. Ribeiro et al. (2005) armazenaram goiabas ‘Paluma’ sob refrigeração e em condição ambiente, e verificaram que as frutas armazenadas sob refrigeração perderam menos massa do que em condição ambiente, devido, principalmente, às menores temperaturas e maiores umidades relativas da câmara refrigerada. Os autores encontraram valores abaixo de 5 % em até 12 dias sob refrigeração, enquanto que em condição ambiente, as perdas ficaram dentro do limite de 15 %, valores similares aos encontrados no presente trabalho.

O produtor comercializa goiaba com base no peso, e o uso de tecnologias que visem diminuir a perda de massa durante o armazenamento torna-se imprescindível para reduzir a perda de valor comercial além de ser uma forma de manter a qualidade do fruto.

4.4.2 Firmeza

No decorrer do armazenamento as frutas de todos os experimentos tornaram-se menos firmes, tal fato ocorre devido às modificações durante o amadurecimento e conservação das frutas e o amaciamento dos tecidos é uma alteração marcante (KLUNGE et al., 2002). O fruto torna-se macio devido à ação de enzimas que atuam na hidrólise do amido, na transformação dos constituintes celulósicos, bem como na conversão da protopectina em pectina solúvel (DÚSSAN-SARRIA, 2003).

As mudanças deste atributo se comportaram de forma semelhante para a maioria dos experimentos, diminuindo rapidamente nos primeiros dias de armazenamento, no decorrer do tempo essa se dá de maneira mais lenta, tendendo para a estabilidade, como mostra o exemplo do experimento E09 na Figura 22. A partir do 15º dia a redução da firmeza dos frutos não apresentou diferença a 5 % de significância. A análise de variância encontra-se no Apêndice 07 (b). As médias, desvio e teste de Tukey dos demais experimentos encontram-se apresentados no Apêndice 09.

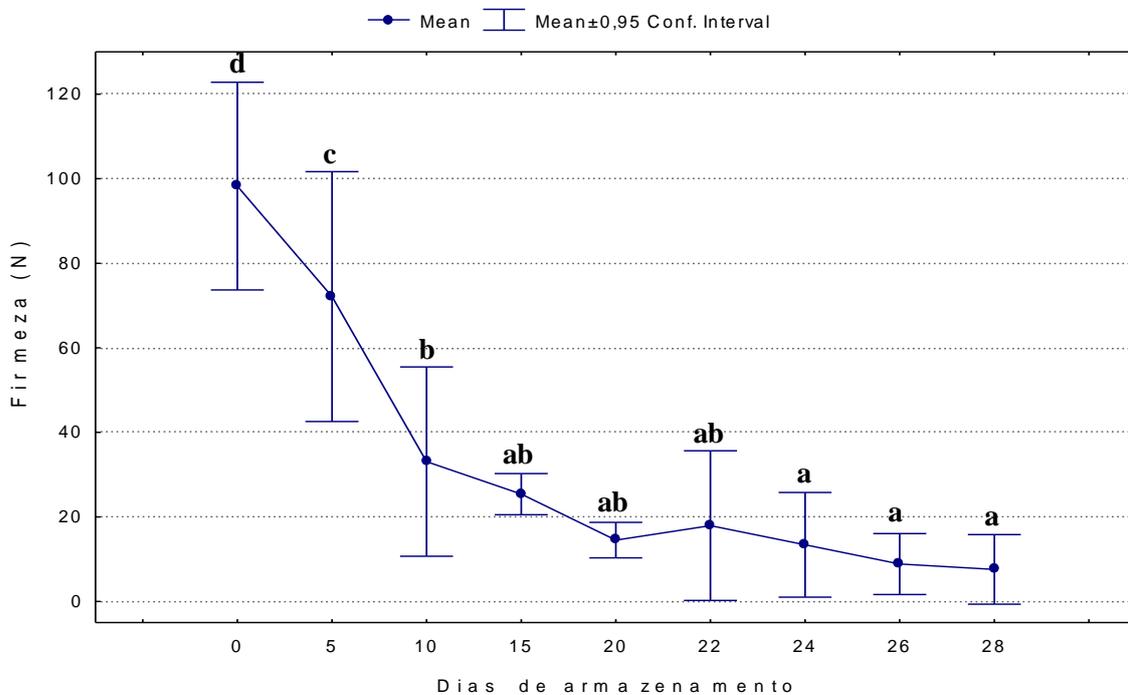


Figura 22 – Média, desvio padrão e teste de Tukey da firmeza (N) de goiaba cv. Paluma submetidas ao resfriamento rápido por ar forçado, do experimento E09, embalada em caixa de papelão com área de abertura de 10,98% e 28 horas e 15 minutos após a colheita (Letras diferentes indicam diferença a 5 % de significância).

Tal decréscimo pode ter ocorrido devido a presença de substâncias pécticas na goiaba as quais vão sendo degradadas por ação enzimática, com consequente amolecimento dos frutos (AWAD, 1993). A degradação do amido e a perda do turgor também podem levar ao amolecimento dos frutos (AZZOLINI, 2002). Dessa forma a firmeza é um importante parâmetro de qualidade, pois afeta a qualidade do fruto, tendo efeito na resistência ao transporte, conservação e ataque de microrganismos.

Como pode ser observado na Figura 23, as goiabas armazenadas em condição ambiente (E12) apresentaram firmeza de $13,40 \pm 0,43$ N no 9º dia de armazenamento, enquanto que os frutos submetidos ao resfriamento lento (E13), no mesmo período, apresentaram média de $26,04 \pm 6,14$ N. No 10º dia de armazenamento, os frutos submetidos ao resfriamento rápido apresentaram, para os onze experimentos, uma média de $50,59 \pm 16,86$ N para este parâmetro. Constatando, assim, que o resfriamento rápido associado ao armazenamento refrigerado foi importante na manutenção das atividades metabólicas que induzem o amaciamento dos tecidos.

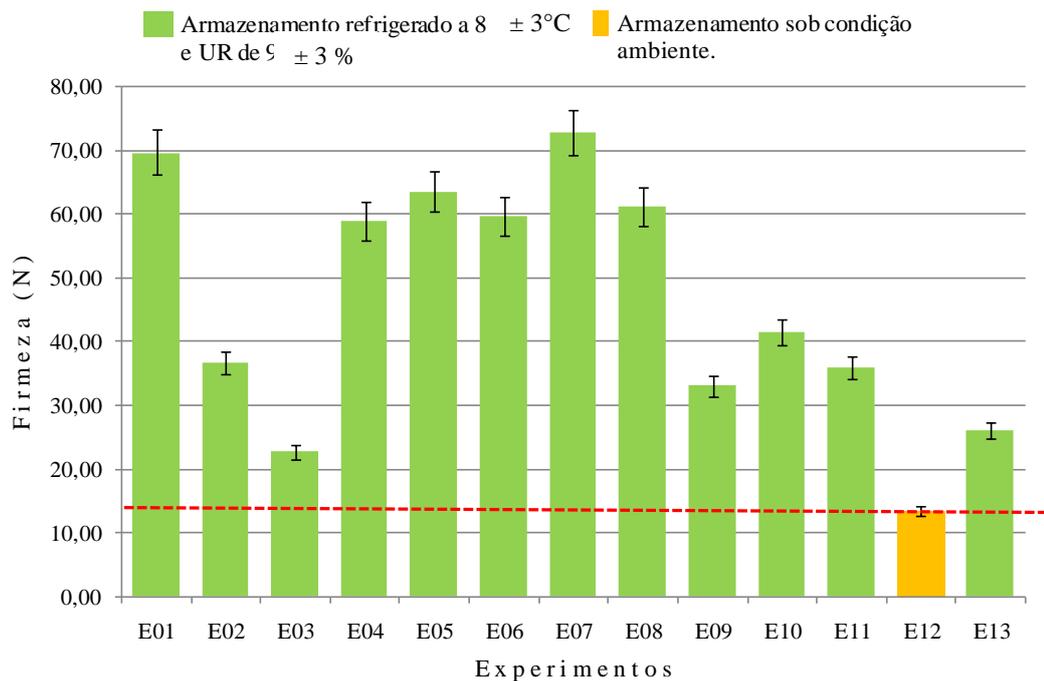


Figura 23 – Gráfico da média e desvio padrão da firmeza (N) de goiaba cv. Paluma.

Lima e Durigan (2002) encontraram valores de firmeza de goiaba cv. Paluma, armazenadas ao ambiente ($21,6$ °C e $73,4$ % UR), que diminuíram de $97,3$ N, no 1º dia, para $19,6$ N, no 7º dia. Os dados encontrados por Cavalini (2006) para firmeza de goiabas da mesma cultivar apresentou os seguintes valores para 5 estádios de maturação: $132,50$ N para

goiaba verde-escuro; 74,74 N para verde-clara; 48,89 N para verde-amarela; 28,99 N para amarelo-esverdeada e de 20,06 N para goiaba amarela.

Jacomino et al. (2003) avaliaram a conservação de goiabas cv. Pedro Sato em condição ambiente ($25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $75 \pm 5\%$ UR) e observaram que houve decréscimo da firmeza ao longo do armazenamento. As frutas foram colhidas com firmeza da polpa de 47,74N e após 6 dias de armazenamento encontraram valor de 11,21 N. Azzolini (2002) avaliou a firmeza de goiabas colhidas em três estádios de maturação e encontrou os valores de 100,80 N para os frutos com cor da casca verde-escuro, 77,60 N para frutos com casca verde-clara e 46,30 N com casca verde-amarela.

4.4.3 Vitamina C

No decorrer do armazenamento as frutas de todos os experimentos apresentaram aumento gradativo na concentração de vitamina C atingindo seu valor máximo entre o 20º e o 26º dia de armazenamento, posteriormente reduzindo seus valores. Como mostra o exemplo do experimento E05 na Figura 24. A análise de variância deste composto para o experimento E05 encontra-se no Apêndice 07 (c).

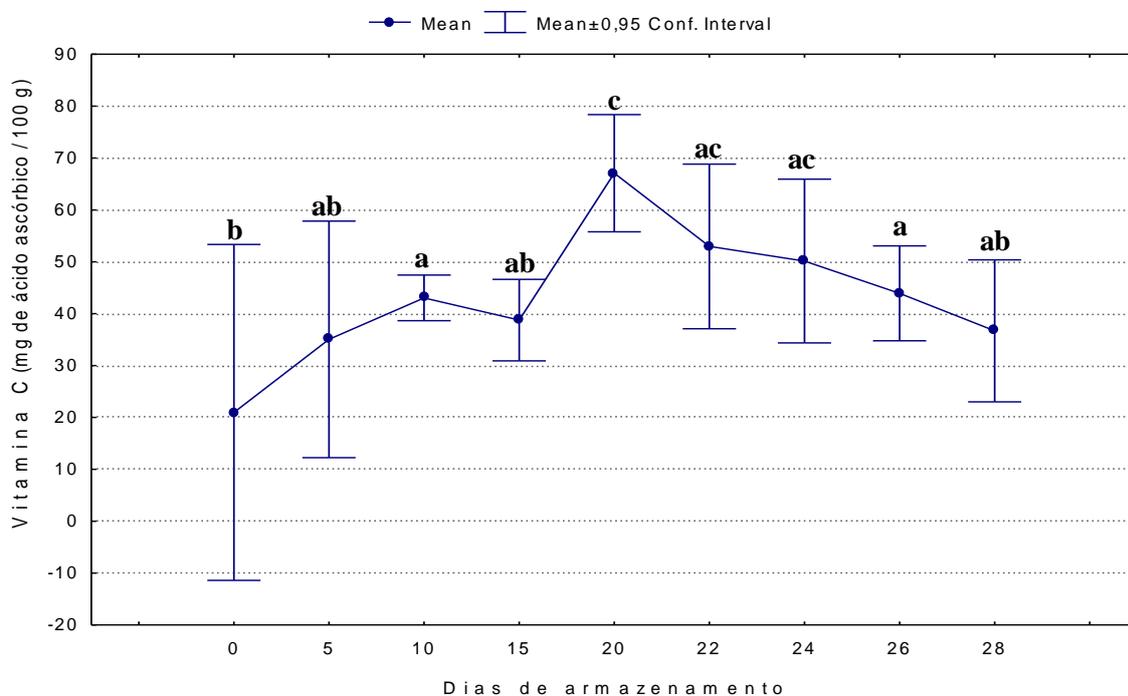


Figura 24 – Média, desvio padrão e teste de Tukey de vitamina C (mg de ácido ascórbico / 100 g) durante 28 dias de armazenamento de goiaba cv. Paluma submetida ao resfriamento rápido por ar forçado, do experimento E05, embalada em caixa de papelão com área de abertura de 6,37% e 28 h e 15 min após a colheita (Letras diferentes indicam diferença a 5 % de significância).

O valor máximo encontrado foi de $80,74 \pm 5,24$ mg de ácido ascórbico / 100 g para as frutas submetidas ao resfriamento rápido. A média máxima das frutas resfriadas lentamente foi de $61,96 \pm 3,38$ mg de ácido ascórbico / 100 g no 20º dia de armazenamento e as goiabas armazenadas sob condições ambiente atingiram seu valor máximo de $46,32 \pm 4,18$ mg de ácido ascórbico / 100 g no 7º dia de armazenamento. Comprovando que as perdas deste composto são geralmente mais rápidas a temperaturas altas de armazenamento (DÚSSAN SARRIA, 2003).

Durante o armazenamento podem ocorrer perdas de diversos componentes dos frutos, inclusive de vitamina C, uma vez que parte dela é perdida durante o transporte, armazenamento e processamento. É mais desejável altos teores deste composto, pois o mesmo atua na fase aquosa como um excelente antioxidante sobre os radicais livres (BIANCHI; ANTUNES, 1999).

Mercado-Silva, Bautista e Garcia-Velasco (1998) comprovam o desenvolvimento da vitamina C em goiabas e concluíram que há um aumento no teor de ácido ascórbico no início do amadurecimento. O aumento inicial pode estar relacionado à maior síntese de intermediários metabólicos percussores deste composto e que posterior redução se dá à oxidação dos ácidos orgânicos durante o amadurecimento (AZZOLINI; JACOMINO; BRON, 2004; MANICA et al., 2000).

Lima, Assis e Gonzaga Neto (2002), caracterizaram frutos da goiabeira de diferentes cultivares e encontraram faixa de variação de 52,80 a 209,88 mg de ácido ascórbico / 100 g, sendo para a cv. Paluma a média de 89,78 mg de ácido ascórbico / 100 g, superiores aos encontrados na presente pesquisa. Mattiuz e Durigan (2001) encontraram valores de vitamina C em goiaba cv. Paluma armazenada sob condições de ambiente ($23,4 \pm 1$ °C e 62 ± 6 % UR) na faixa de variação de 64,47 a 79,22 mg de ácido ascórbico / 100 g. Mattiuz, Durigan e Rossi (2003) caracterizam goiaba da mesma cultivar com vitamina C de 37,71 mg de ácido ascórbico / 100 g.

Lima e Durigan (2002) observaram que o conteúdo de ácido ascórbico, de 78,5 mg de ácido ascórbico / 100 g no 1º dia, diminuiu durante o armazenamento ($21,6$ °C $73,4$ % UR), chegando a 42,2 mg de ácido ascórbico / 100 g de polpa no 7º dia. Estudos realizados por Cavalini et al. (2004) utilizando índices para avaliar qualidade pós-colheita de goiabas em diferentes estádios de maturação, observaram que o teor de vitamina C aumentou de 62,80 para 84,94 mg de ácido ascórbico / 100 g polpa no 5º dia de armazenamento.

A média e desvio padrão das concentrações deste composto para as onze condições de resfriamento rápido e o Teste de Tukey comparando diferença significativa no decorrer do armazenamento estão apresentados Apêndice 10.

4.4.4 Acidez Titulável

Na maioria dos frutos, o teor de ácidos orgânicos diminui com o amadurecimento e o pH é concomitantemente modificado (LIMA, 2002). No entanto os valores encontrados na presente pesquisa observaram um aumento do teor deste composto, no entanto não apresentou diferença significativa a um nível de 0,05 para a maioria dos experimentos, como mostra o Apêndice 11. A Figura 25 exibe o exemplo do experimento E05, o qual não apresentou diferença significativa a um nível de 5 % para esse composto durante os 28 dias de armazenamento.

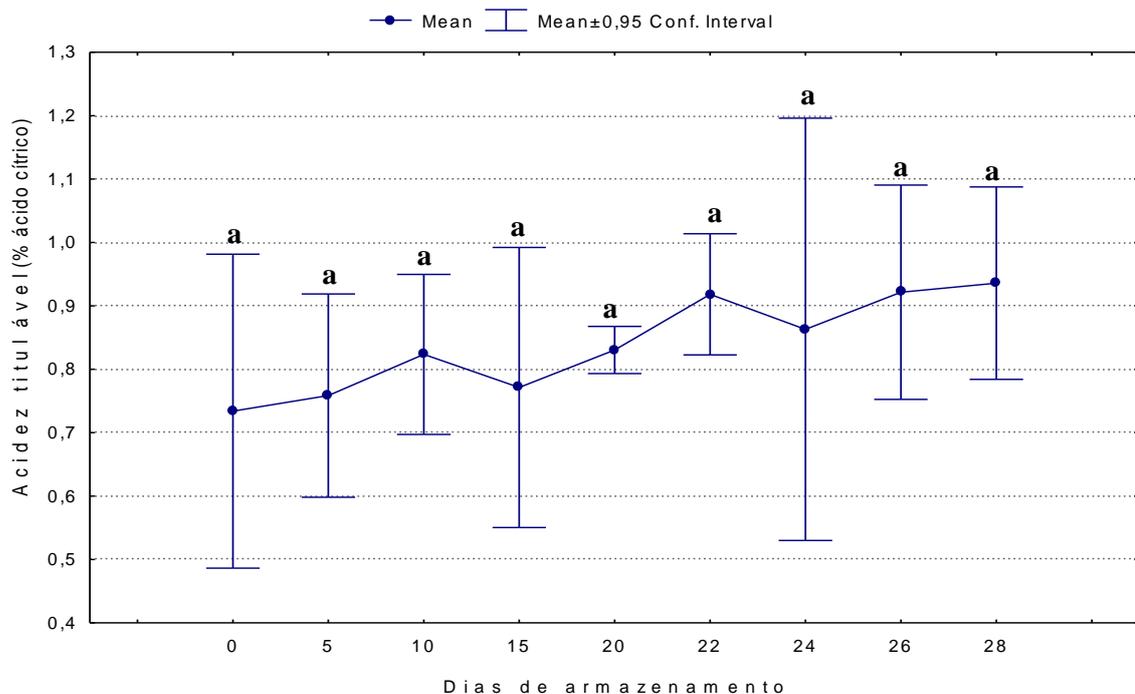


Figura 25 – Média, desvio padrão e teste de Tukey da acidez titulável (% ácido cítrico / 100 g) durante 28 dias de armazenamento de goiaba cv. Paluma submetida ao resfriamento rápido por ar forçado, do experimento E05, embalada em caixa de papelão com área de abertura de 6,37% e 28 h e 15 min após a colheita (Letras diferentes indicam diferença a 5 % de significância).

Os resultados encontrados para os experimentos controle (resfriamento lento e condição ambiente) foram similares aos resultados das goiabas submetidas ao resfriamento rápido por ar forçado. O aumento da acidez titulável, embora que em alguns experimentos não

significativo, possivelmente pode ter ocorrido devido a formação de ácidos orgânicos (ácido poligacturônico) proveniente da degradação da parede celular (PEREIRA et al., 2005).

A aparente estabilidade observada nesta pesquisa para os ácidos orgânicos durante o período de armazenamento pode ser um indicador de provável estabilidade metabólica, pois os mesmos servem de substrato para reações tais como respiração e produção de voláteis no decorrer do amadurecimento.

Pereira et al. (2005), avaliaram goiaba da cultivar 'Cortibel' em condições ambiente a 8 ± 2 °C e 88 ± 2 % de umidade relativa, e os resultados também diminuíram com o amadurecimento, de 0,36 % de ácido cítrico / 100 g no 1º dia para 0,65 % de ácido cítrico / 100 g no 29º dia de armazenamento. Ribeiro et al. (2005), encontraram valores semelhantes para goiabas recém-colhidas, no entanto seus valores reduziram no 6º e 12º dia de armazenamento. Azolini (2002) avaliou a acidez de goiabas 'Pedro Sato' colhidas em três estádios de maturação e encontrou os valores de 0,60 % ácido cítrico para os frutos com cor da casca verde-escura, 0,54 % ácido cítrico para frutos com casca verde-clara e 0,51 % ácido cítrico para os com casca verde-amarela. Resultados inferiores aos encontrados nesta pesquisa.

Pereira, Carvalho e Nachtigal (2003) também encontraram valores inferiores para goiaba cv. Paluma, de 0,52 % de ácido cítrico /100 g de polpa. Argandoña (2005), avaliou goiaba da mesma cultivar cuja acidez titulável foi de $0,61 \pm 0,07$ % ácido cítrico / 100 g. Estudo realizado por Lima, Assis e Gonzaga Neto (2002) apresenta valores de acidez titulável variando de 0,40 a 1,04 % de ácido cítrico; e 0,63 % de ácido cítrico para a cultivar Paluma. Estando os valores encontrados de acordo com os limites citados. Os mesmos autores citam que baixos teores em ácidos são uma característica desejável quando o objetivo é o consumo in natura.

4.4.5 pH

De modo geral, os valores de pH tendem a aumentar com o amadurecimento da fruta, o decréscimo ao final do período de armazenamento é influenciado pelo decréscimo da acidez titulável (DÚSSAN-SARRIA, 2003). No entanto, como o teor de acidez titulável aumentou durante o amadurecimento, os valores de pH reduziram. A média dos valores de pH iniciais foi de $3,89 \pm 0,10$ e a final (28º dia de armazenamento) foi de $3,76 \pm 0,08$ para as goiabas submetidas ao resfriamento rápido. Os experimentos controle variaram de $3,73 \pm 0,05$ a $3,64 \pm 0,05$, respectivamente, para as frutas submetidas ao resfriamento lento e para as

frutas armazenadas sob condição ambiente não apresentaram diferença significativa a um nível de 5%.

Segundo Lima, Assis e Gonzaga Neto (2002), valores de pH variando de 3,72 a 4,22 são considerados altos, assim, quando o fruto for destinado ao processamento haverá a necessidade de adicionar ao produto ácidos orgânicos comestíveis, para se obter um produto final de melhor qualidade.

Apesar de ter apresentado diferença significativa no decorrer do armazenamento para este parâmetro, pode-se observar uma baixa variação do mesmo no decorrer dos 28 dias. Melo (2005) explica que tal comportamento estável pode ser atribuído pela própria natureza dos ácidos predominantes na seiva vacuolar das células dos frutos.

Para todos os experimentos o comportamento do pH foi semelhante, a Figura 26 exhibe o exemplo do experimento E05, o qual apresentou diferença significativa a um nível de 5 % para esse composto durante os 28 dias de armazenamento. A análise de variância para este experimento encontra-se no Apêndice 07 (e). A média e desvio padrão do pH para as onze condições de resfriamento rápido e Teste de Tukey comparando diferença significativa de um no decorrer do armazenamento estão apresentados Apêndice 12.

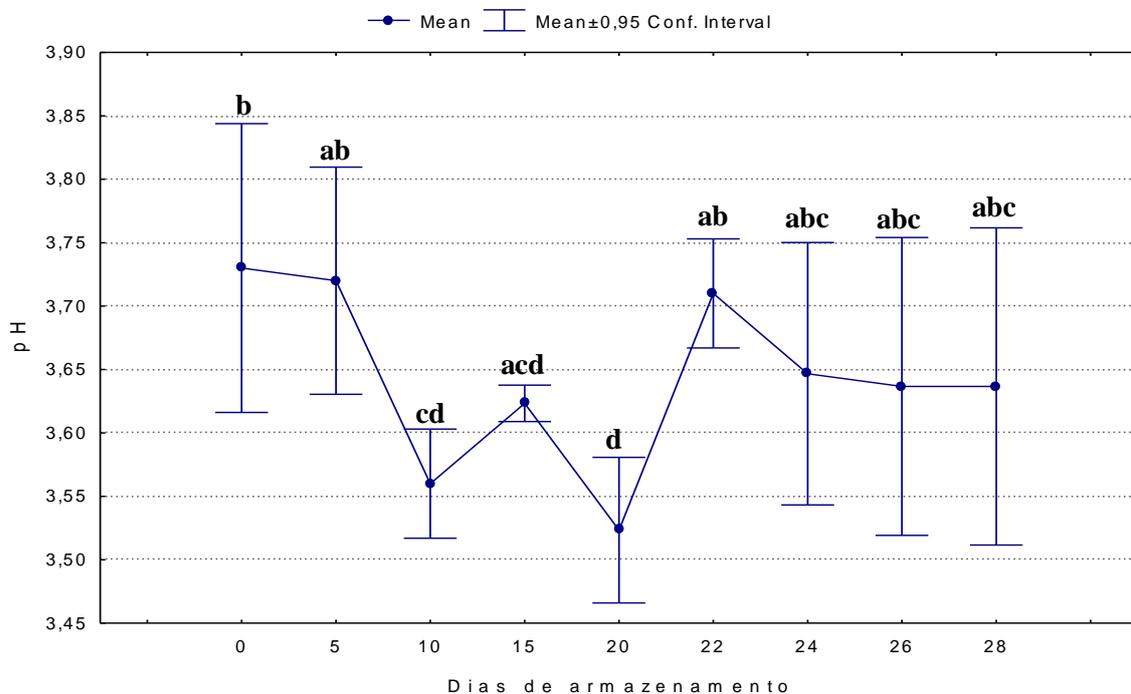


Figura 26 – Média, desvio padrão e teste de Tukey do pH durante 28 dias de armazenamento de goiaba cv. Paluma submetida ao resfriamento rápido por ar forçado, do experimento E05, embalada em caixa de papelão com área de abertura de 6,37% e 28 h e 15 min após a colheita (Letras diferentes indicam diferença a 5 % de significância).

Pereira et al (2005) avaliaram goiaba da cultivar ‘Cortibel’ em condições de armazenamento de $8 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $88 \pm 2\%$ e os valores de pH encontrados variaram de 4,07 para 3,46 no 29º dia de armazenamento, valores similares aos encontrados na presente pesquisa. Argandoña (2005) encontrou valores de pH para goiabas cv. Paluma, Cascuda e Pedro Sato de $3,9 \pm 0,5$; $4,0 \pm 0,1$ e $4,1 \pm 0,3$, respectivamente. Meira, Siqueira e Costa (2008) caracterizaram frutos da mesma cultivar e a média de pH foi de 3,73. Pereira (2009) caracterizou goiaba cv. Paluma e encontrou valores de $3,59 \pm 0,37$.

4.4.6 Sólidos Solúveis

Os teores de sólidos solúveis apresentaram tendência de aumento ao longo do período de armazenamento, no entanto a variação foi baixa, como pode ser observado no exemplo do experimento E11 na Figura 27. Tal fato pode ser atribuído ao uso da refrigeração durante o período de armazenamento, a qual retarda processos metabólicos e, conseqüentemente, reduz o consumo de reservas. A análise de variância de sólidos solúveis do referido experimento encontra-se no Apêndice 07 (f). As médias e desvio padrão deste composto para as onze condições de resfriamento rápido e teste de Tukey comparando diferença significativa no decorrer do armazenamento estão apresentados Apêndice 13.

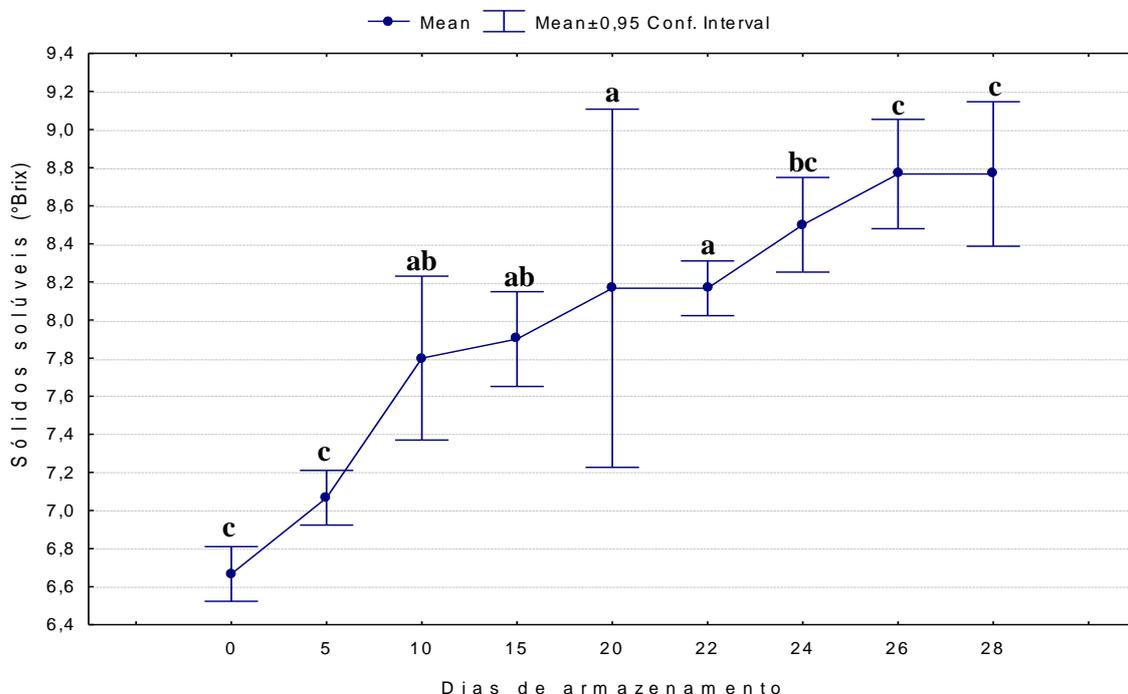


Figura 27 – Média, desvio padrão e teste de Tukey de sólidos solúveis (°Brix) durante 28 dias de armazenamento de goiaba cv. Paluma submetida ao resfriamento rápido por ar forçado, do experimento E11, embalada em caixa de papelão com área de abertura de 6,37 % e 32 h e 30 min após a colheita (Letras diferentes indicam diferença a 5 % de significância).

No entanto os experimentos E05, E06 e E07 (pontos centrais) não apresentaram diferença 5 % de significância nas mudanças no decorrer dos 28 dias de armazenamento, provavelmente devido à baixa taxa respiratória e conseqüentemente baixo consumo de açúcares. O experimento E10 não apresentou diferença ao mesmo nível de significância a partir do 10º dia de armazenamento.

Segundo Chitarra e Chitarra (2005) e Ribeiro et al.(2005), quanto maior for a perda de massa, maior o teor de açúcares, aumentando a concentração deste composto nas frutas, o que não foi observado no experimento a temperatura ambiente (27°C). No referido experimento observou um decréscimo $11,6 \pm 0,1$ °Brix, no 1º dia de armazenamento para $9,5 \pm 0,2$ °Brix no 9º dia, tal fato pode ser devido à utilização dos sólidos solúveis nos processos fisiológicos decorrentes do metabolismo do fruto, como os mesmos não foram submetidos ao armazenamento refrigerado e não ocorreu o retardo do amadurecimento. No teste de Tukey, os frutos deste experimento apresentaram diferença a 5 % de significância.

Os teores de ácidos orgânicos, com poucas exceções, diminuem com a maturação, devido ao processo respiratório ou da sua conversão em açúcares. Além disso, esses ácidos constituem excelentes reservas energéticas do fruto, através de sua oxidação via ciclo de Krebs (KAYS, 1991).

Lima, Assis e Gonzaga Neto (2002), encontraram para diferentes cultivares e seleções de goiabeira tiveram teores de sólidos solúveis variando de 7,2 a 10,9 °Brix, sendo para a cultivar 'Paluma' o valor de 10,4 °Brix, valores semelhantes aos encontrados na presente pesquisa. A média deste composto encontrada por Mattiuz, Durigan e Rossi Junior (2003) foi de 7,55 °Brix para a cultivar Paluma. Meira, Siqueira e Costa (2008); Pereira (2009) e Pereira, Carvalho e Nachtigal (2003) caracterizaram frutos desta mesma cultivar e encontraram valores de 11,63 °Brix; $9,50 \pm 0,20$ °Brix e 9,6 °Brix, respectivamente.

Chitarra e Chitarra (2005) afirmam que baixas temperaturas de armazenamento tem capacidade de retardar as atividades metabólicas, reduzindo, assim, a síntese e degradação dos polissacarídeos e carboidratos. Constatando que, nesta pesquisa, a condição de temperatura foi importante para a manutenção dos teores de sólidos solúveis.

Carvalho (1999) avaliou o teor de sólidos solúveis em diferentes cultivares de goiaba, e observou que o mesmo varia entre 5,72 e 17,76 °Brix, os valores encontrados na presente pesquisa estão dentro dos valores determinados pelo referido autor.

As médias, desvios padrão e testes de Tukey para os parâmetros perda de massa, vitamina C, acidez titulável, pH, sólidos solúveis e firmeza de goiabas cv. Paluma dos experimentos E12 (armazenadas durante 9 dias a 27°C) e E13 (armazenadas durante 26 dias a

$8 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $90 \pm 3\%$) encontram-se nos Apêndices 14 e 15, respectivamente.

4.4.7 Análise Sensorial

O parâmetro intenção de compra foi quem determinou a vida útil pós-colheita dos frutos da goiabeira, no qual foi utilizada escala hedônica de 5 pontos e as notas atribuídas foram 5 (certamente compraria) a 1 (certamente não compraria), considerando notas menores a 3 (talvez comprasse, talvez não comprasse) referente a rejeição do produto. A vida útil de goiaba variou de 9 dias para o experimento ao qual os frutos foram armazenadas sob condição ambiente e de 34 dias para os frutos submetidos ao resfriamento rápido no menor tempo após a colheita (24 horas) e armazenados sob refrigeração.

Com relação a este atributo foi observada diferença significativa entre os experimentos de resfriamento rápido no decorrer de 28 dias de armazenamento, no entanto, ainda no ponto de vista estatístico, para alguns experimentos não foi possível a avaliação do comportamento devido a impossibilidade de ajuste dos dados, sendo os mesmos avaliados graficamente apenas com os dados experimentais com o intuito de comparação com os demais experimentos.

Pode-se observar na Figura 28 que as goiabas do experimento E10, as quais foram submetidas ao resfriamento rápido no menor tempo após a colheita (24 horas) e armazenamento refrigerado, apresentaram o maior período de comercialização, recebendo notas de aceitação (superior a 3) até o 32º dia de armazenamento obtendo uma de média $3,6 \pm 1,3$. Somente no 34º dia foram rejeitadas pelos julgadores apresentando média das notas igual a $2,3 \pm 1,1$. Os dados confirmam que quanto menor o tempo entre a colheita e a aplicação do resfriamento rápido, maior a vida útil dos produtos, pois mais rapidamente será removido o calor de campo das frutas e conseqüentemente acarretará em um metabolismo mais lento.

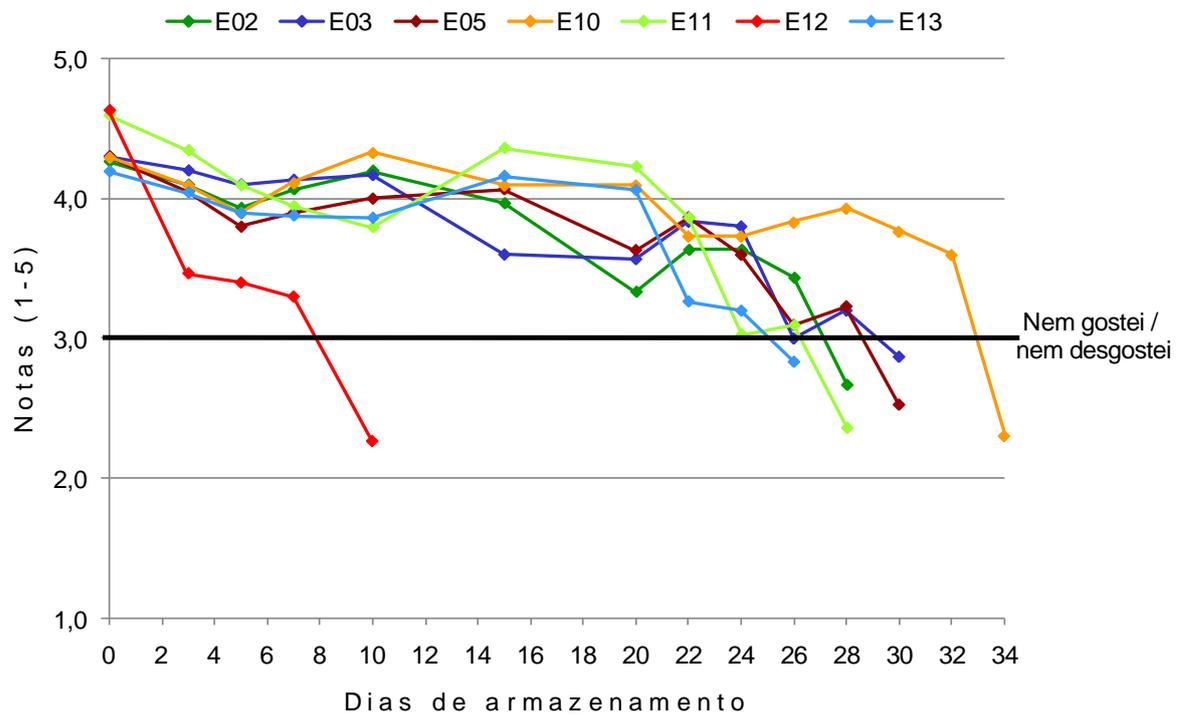


Figura 28 – Variações na intenção de compra de goiabas cv. Paluma submetidas ao resfriamento rápido e resfriamento lento armazenadas sob condições controladas ($8 \pm 2^\circ\text{C}$ e $90 \pm 3\%$ de umidade relativa) e ao armazenamento sob condição ambiente (27°C).

Pode-se observar que o armazenamento refrigerado, com ou sem a aplicação do resfriamento rápido, é um fator importante para a manutenção da qualidade dos frutos. Isso demonstra que o armazenamento nas condições ideais para o fruto em questão favorece as características observadas pelos consumidores no momento da compra, permitindo que os frutos tenham um período de comercialização superior ao de frutas armazenadas a temperatura ambiente. As melhores notas para todos os experimentos foram entre o 15 e o 22º dia de armazenamento, podendo-se constatar que este pode ser o melhor período para comercialização do fruto avaliado.

Observa-se que no 26º dia de armazenamento os frutos do experimento E13, os quais foram submetidos ao resfriamento lento, ainda foram aceitos quanto à aparência interna (cor da polpa), aparência externa (cor da casca) e aspecto geral, apresentando notas superior a 5, com médias de $5,8 \pm 2,7$; $5,2 \pm 2,4$ e $5,2 \pm 2,5$, respectivamente. Apesar dos frutos não terem sido rejeitados quanto aos parâmetros acima citados, o aspecto intenção de compra expressou a rejeição do produto, com média de notas igual a $2,83 \pm 1,5$.

As goiabas armazenadas sob condição ambiente receberam notas de aceitação até o 7º dia com média de $3,3 \pm 1,1$ e foram rejeitadas no 9º dia com média das notas igual a $2,3 \pm$

1,3. Estando o fruto inadequado para comercialização neste período quando o mesmo for armazenado nas condições do referido experimento. Os frutos apresentaram incidência de fungos, murchamento e cor da casca totalmente amarela, como mostra a Figura 29. Nos demais experimentos, armazenados sob refrigeração, não foi observada a incidência de fungos e grau de maturação tão elevado quanto no referido experimento.



Figura 29 – Goiabas cv. Paluma armazenadas a temperatura ambiente (27°C) durante nove dias.

A Tabela 13 apresenta os dados sensoriais no último dia do período de comercialização de goiaba definido através do parâmetro Intenção de Compra, quando o mesmo exprimiu a opinião dos julgadores através de notas inferiores a 3 (talvez comprasse, talvez não comprasse).

Tabela 13 – Médias e desvio padrão das notas da análise sensorial para os parâmetros aparência interna (cor da polpa), aparência externa (cor da casca), aspecto geral e intenção de compra no último dia da vida útil dos frutos.

Experimentos	Vida útil	Aparência interna (Cor da Polpa)	Aparência externa (Cor da casca)	Aspecto geral	Intenção de compra
E01	30	7,6 ± 1,9	5,1 ± 2,7	4,9 ± 2,6	2,7 ± 1,4
E02	28	5,1 ± 2,6	4,9 ± 2,6	4,9 ± 2,6	2,7 ± 1,5
E03	30	7,7 ± 1,5	6,3 ± 1,8	5,8 ± 1,8	2,9 ± 1,2
E04	30	6,1 ± 3,1	6,2 ± 2,3	4,9 ± 2,6	2,9 ± 1,4
E05	30	5,6 ± 2,5	4,9 ± 2,5	5,2 ± 2,5	2,5 ± 1,4
E06	30	5,6 ± 2,9	5,6 ± 2,5	5,5 ± 2,5	3,0 ± 1,6
E07	30	5,9 ± 1,9	4,7 ± 2,1	4,9 ± 2,5	2,5 ± 1,3
E08	30	7,4 ± 2,0	6,0 ± 1,9	5,8 ± 2,0	3,0 ± 1,4
E09	30	7,4 ± 2,1	5,4 ± 1,9	5,4 ± 1,9	2,7 ± 1,1
E10	34	6,2 ± 2,0	4,7 ± 2,2	4,3 ± 2,2	2,3 ± 1,1
E11	28	7,5 ± 2,3	4,1 ± 2,1	4,2 ± 1,9	2,4 ± 1,0
E12	9	6,9 ± 1,9	4,6 ± 2,5	4,3 ± 2,3	2,3 ± 1,3
E13	26	5,8 ± 2,7	5,2 ± 2,4	5,2 ± 2,5	2,8 ± 1,5

Pode-se observar na tabela acima que no experimento E11 os frutos receberam notas abaixo de 3 (talvez comprasse, talvez não comprasse) no 28º dia de armazenamento, tal fato pode ter se dado devido à variável do tempo entre a colheita e o armazenamento, que foi o valor máximo no planejamento experimental, equivalente à 32 horas e 30 minutos após a colheita. Em contrapartida, para o experimento E10, equivalente ao menor tempo entre a colheita e o resfriamento rápido (24 horas), obteve rejeição dos provadores somente nos 34 dias de armazenamento, constatando que o tempo entre a colheita e a aplicação desta tecnologia influencia na vida útil pós-colheita dos produtos. Confirmando estudos realizados por Hardenburg, Watada e Wang (1990) e Sun e Brosnam (2001), que o tempo de espera após a colheita, antes da etapa de refrigeração, influenciará na deterioração desses produtos.

Tonini et al. (1990) citado por Ferri e Rombaldi (2004), compararam o atraso do resfriamento de ameixas por 10, 20 ou 30 horas e concluíram que quanto maior o atraso, pior a qualidade dos frutos em termos de firmeza de polpa, e percentual de frutos extremamente maduros e ocorrência de podridão.

Na escala hedônica de 9 pontos, as notas são atribuídas de 9 (gostei muitíssimo) a 1 (desgostei muitíssimo) e as amostras são consideradas aceitas quando em média das notas

for superior a 5 (nem gostei, nem desgostei). Na presente pesquisa, com relação ao atributo aparência interna (cor da polpa) foi observada diferença a 5 % de significância entre os experimentos de resfriamento rápido no decorrer de 28 dias de armazenamento, como pode ser observado no Apêndice 16.

Segundo análise de superfície de resposta, para as goiabas submetidas ao resfriamento rápido, a variável que mais influenciou na vida útil foi o tempo entre a colheita e a aplicação do resfriamento rápido por ar forçado. Assim, foram escolhidos cinco experimentos, com os diferentes tempos desta variável para análise do comportamento das frutas para esta variável. Os experimentos selecionados foram: E02 (31h e 15 min), E03 (24h e 15 min), E05 (28 h e 15 min), E10 (24 h) e E11 (32 h e 30 min), além dos dois experimentos controle E13 (resfriamento lento) e E12 (armazenamento não refrigerado).

Para a análise desta variável os julgadores foram instruídos a darem suas notas em relação somente à cor da polpa do fruto, independente da presença ou não de defeitos. Pode-se observar através da Figura 30, que os frutos mantiveram-se com notas superiores a 5 (nem gostei nem desgostei) no decorrer da vida útil, inclusive nos experimentos controle. Sabe-se que à medida que a goiaba amadurece a cor vermelha da polpa fica mais intensa e, através destes resultados, pode-se observar que a mesma continua com um nível de aceitação positivo pelos julgadores até o fim da vida útil dos produtos.

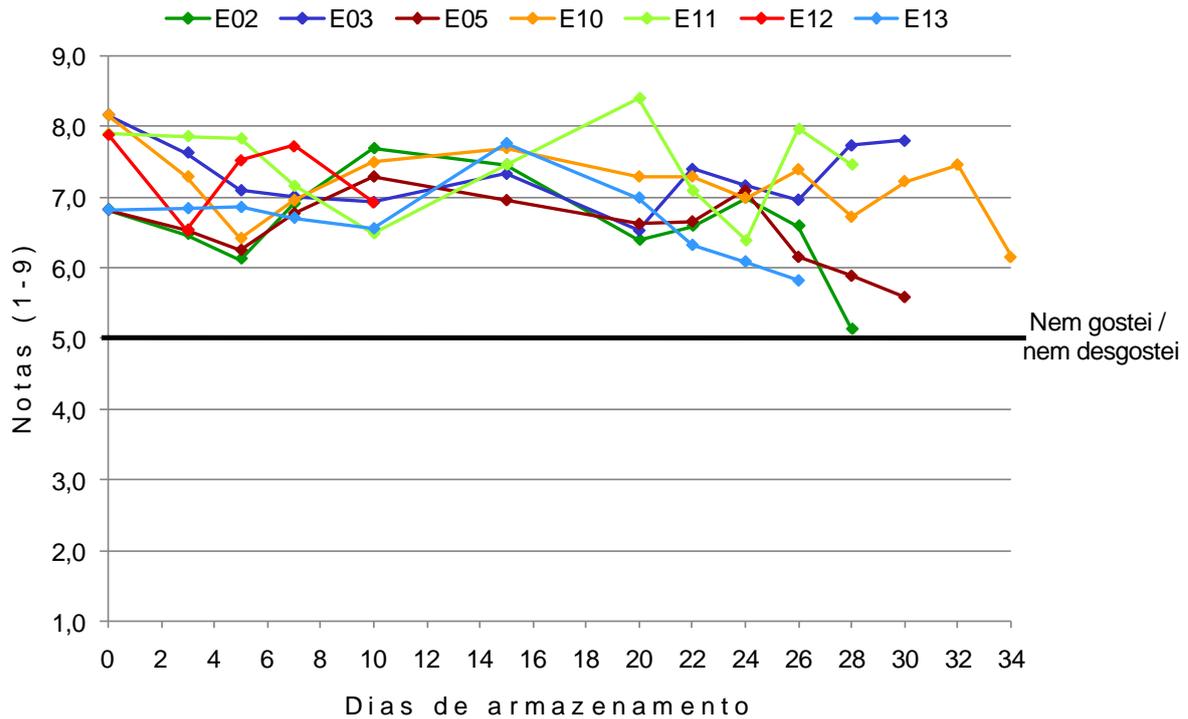


Figura 30 – Variações na aparência interna (cor da polpa) de goiaba cv. Paluma submetida ao resfriamento rápido e resfriamento lento armazenadas sob condições controladas ($8 \pm 3^\circ\text{C}$ e $90 \pm 3\%$ de umidade relativa) e ao armazenamento sob condição ambiente (27°C).

Para o atributo de aparência externa os julgadores foram instruídos a darem suas notas em relação somente à cor da casca da fruta, independente da presença ou não de defeitos. Através da análise de variância foi observada diferença significativa ao nível de 5 % entre os experimentos de resfriamento rápido no decorrer de 28 dias de armazenamento (Apêndice 17), no entanto, ainda no ponto de vista estatístico, através de equações lineares, polinomiais e exponenciais, não foi possível a definição do comportamento dos experimentos T02 e T03, sendo a representação gráfica destes efetuadas apenas com os pontos determinados experimentalmente. Além disso, para todos os experimentos de resfriamento rápido foram observados baixos coeficientes de determinação ($R^2 < 0,70$).

A Figura 31 apresenta a representação gráfica para este parâmetro, podendo-se observar que no decorrer do armazenamento os frutos tenderam a atingir notas abaixo de 5 (nem gostei, nem desgostei). O experimento ao qual as goiabas foram armazenadas a temperatura ambiente (27°C), a média das notas foi de $4,6 \pm 2,5$ no 9º dia de armazenamento, neste período os frutos já se encontravam com maturação bastante avançada com cor da casca totalmente amarela. Através dos dados apresentados, percebe-se que a medida que a fruta apresenta cor amarela predominante os julgadores expressam um nível de aceitação mais baixo, observando preferência pelos frutos com coloração mais verde.

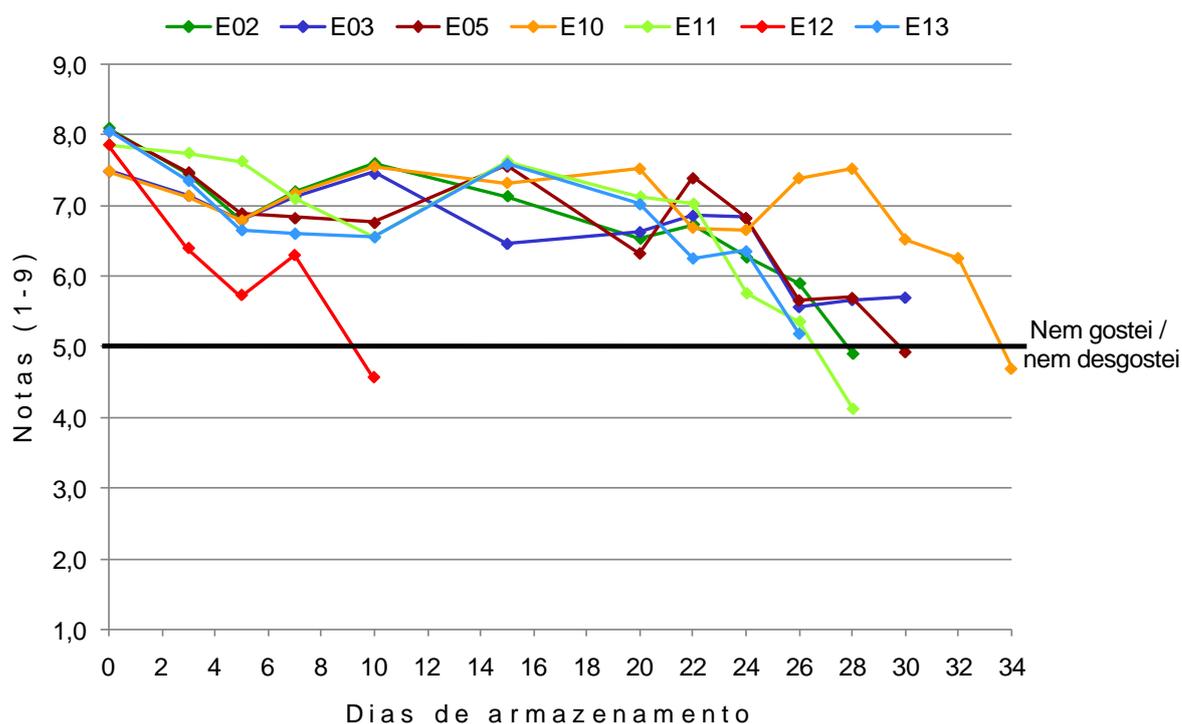


Figura 31 – Variações na aparência externa (cor da casca) de goiaba cv. Paluma submetida ao resfriamento rápido e resfriamento lento armazenadas sob condições controladas ($8 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e $90 \pm 3\%$ de umidade relativa) e ao armazenamento sob condição ambiente (27°C).

Outro atributo avaliado foi o aspecto geral, ao qual os julgadores foram instruídos a dar notas quanto ao aspecto dos frutos observando os defeitos e injúrias, exprimindo sua opinião em relação à qualidade dos mesmos. Através da análise de variância foi observada diferença significativa ao nível de 5 % entre os experimentos de resfriamento rápido no decorrer de 28 dias de armazenamento (Apêndice 16) para este parâmetro.

A Figura 32 representa graficamente a variação deste parâmetro, podendo-se observar que no decorrer do armazenamento os frutos tenderam a atingir notas abaixo de 5 (nem gostei, nem desgostei).

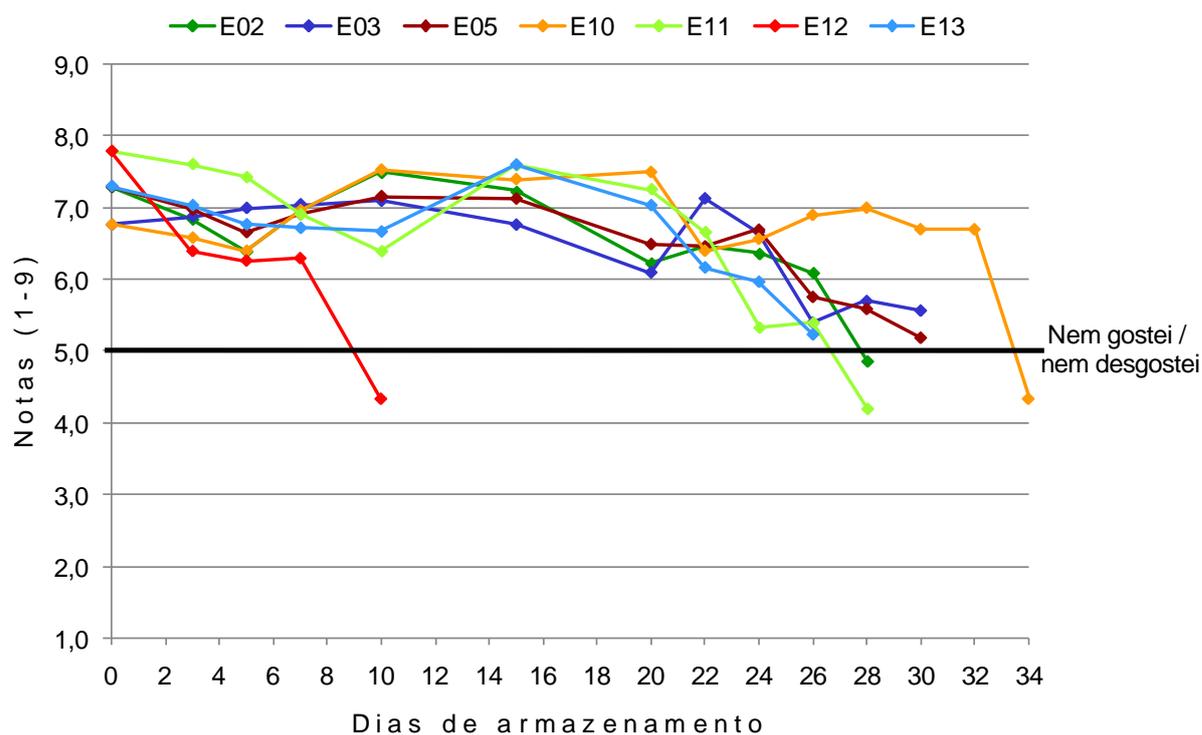


Figura 32 – Variações no aspecto geral de goiaba cv. Paluma submetidas ao resfriamento rápido e resfriamento lento armazenadas sob condições controladas ($8 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e $90 \pm 3\%$ de umidade relativa) e ao armazenamento sob condição ambiente (27°C).

5 CONCLUSÕES

A partir do desenvolvimento desta pesquisa, pode concluir que:

- I. Goiabas cv. Paluma submetidas ao resfriamento rápido com ar forçado apresentaram vida útil três vezes maior do que frutos armazenados sob condições ambiente.
- II. O tempo entre a colheita e a aplicação do resfriamento rápido por ar forçado é a variável que mais influencia estatisticamente o tempo de vida útil de goiaba cv. Paluma. Quanto menor o tempo, maior a vida útil do produto.
- III. As diferentes áreas de abertura para passagem do ar nas embalagens testadas em caixas de papelão não influenciaram estatisticamente a vida útil do produto, no entanto influenciaram a eficiência do processo. Quanto maior a área de abertura, maior o coeficiente convectivo de transferência de calor.
- IV. As embalagens de papelão apresentaram-se favoráveis para conservação pós-colheita de goiabas cv. Paluma submetidas ao resfriamento rápido com ar forçado e armazenadas a 8 ± 3 °C e 90 ± 3 % de umidade relativa. Todavia, áreas de abertura inferiores a 5% não apresentam boa eficiência no processo de transferência de calor.
- V. Segundo dados sensoriais, os produtos conservados sob refrigeração a 8 ± 3 °C e 90 ± 3 % de umidade relativa manteve-se em condições de comercialização no período variando de 28 a 34 dias. Enquanto que os frutos conservados sob condição ambiente (27 °C), não apresentaram estado adequado para comercialização já no 9º dia de armazenamento.
- VI. Os valores do coeficiente convectivo de transferência de calor, obtidos a partir de dados experimentais, são representativos do processo estudado.
- VII. O resfriamento rápido por ar forçado mostrou-se uma tecnologia adequada para o aumento da vida útil pós-colheita dos frutos.
- VIII. A perda de massa das goiabas foi crescente no decorrer do armazenamento, todavia, os frutos armazenados sob condição ambiente apresentaram valor superior aos

armazenados sob refrigeração a $8 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e $90 \pm 3\%$ de umidade relativa (submetidos ou não ao resfriamento rápido). Concluindo-se que o incremento da perda de massa é menor em frutos armazenados sob refrigeração.

- IX. As goiabas cv. Paluma colhidas no período de agosto a outubro apresentaram as menores perdas de massa em relação aos frutos colhidos no período de novembro a dezembro.
- X. O resfriamento rápido associado ao armazenamento refrigerado é uma tecnologia importante para a manutenção das atividades metabólicas que induzem o amaciamento dos tecidos, sendo expressa através do parâmetro firmeza.
- XI. No decorrer do armazenamento as frutas de todos os experimentos apresentaram aumento gradativo na concentração de vitamina C atingindo seu valor máximo entre o 20º e o 26º dia de armazenamento, com posterior redução deste composto.

6 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

- I. Avaliar o resfriamento rápido com ar forçado de goiabas aplicando diferentes taxas de ar nas embalagens.
- II. Determinar o valor das perdas de massa após o resfriamento rápido.
- III. Realizar os testes de resfriamento rápido por ar forçado com frutos colhidos no mesmo período de colheita.
- IV. Avaliar o resfriamento das frutas nas diferentes posições dentro da embalagem e das embalagens no túnel de resfriamento.
- V. Realizar acompanhamento do resfriamento lento com os termopares e elaboração da curva de resfriamento.

7 REFERÊNCIAS

AFONSO, M.R.A. **Resfriamento a vácuo de alfaces hidropônicas (*Lactuca sativa* L.) cv. Salad Bowl: avaliação do processo e da vida pós-colheita.** Campinas 2005. Tese (Doutorado em Engenharia de alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos – Unicamp, 2005.

AFONSO NETO, M.J.A. A pesquisa e a moderna fruticultura. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 125, 1985. 84 p.

AGRIANUAL 2003. **Anuário da Agricultura Brasileira.** Romar Rudolfo Beling... [et al.]. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2003. 136p.:il.

AGRIANUAL 2004. **Anuário da Agricultura Brasileira.** Romar Rudolfo Beling... [et al.]. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2004. 136p.:Il.

AGRIANUAL 2008. **Anuário da Agricultura Brasileira.** Sílvia Corrêa... [et al.]. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2008. 136 p.:il.

AGROPOLOS – Instituto Agropolos do Ceará. **Exportações anuais da fruticultura cearense por produto.** Disponível em: <<http://www.agropolos.org.br/sis.interna.asp?pasta=1&pagina=93>>. Acesso em: 09 de janeiro de 2009.

ANTONIALI, S. **Resfriamento rápido com ar forçado para conservação pós-colheita de alface “crespa”.** 2000. 125 P. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, 2000.

ANTUNES, L.E.C.; DUARTE FILHO, J.; SOUZA, C.M. Conservação pós-colheita de frutos de amoreira-preta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 3, p. 413-419, mar. 2003

ARIFIN, B. B.; CHAU, K. V. Cooling of strawberries in cartons with new vent hole designs. **ASHRAE Transactions**. v. 94, n.1, p. 1415-1426. 1998.

ARGANDOÑA, E.J.S. **Goiabas desidratadas osmoticamente e secas:** Avaliação de um sistema osmótico semicontínuo, da secagem e da qualidade. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, 157 p., 2005.

ASHRAE. Handbook of Fundamentals. Atlanta: American Society of Heating, **Refrigerating and Air Conditioning Engineers**, 1993.

_____. Methods of precooling fruits, vegetables and cut flowers. **Refrigeration Systems and Applications Handbook**, Chapter 10, Atlanta, Georgia (USA), 1994.

_____. Methods of precooling fruits, vegetables and cut flowers. **Refrigeration Systems and Applications Handbook**, Chapter 14, Atlanta, Georgia (USA), 2002.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemistry** 15th ed. Washington, 1995. 2v.

AZZOLINI, M. **Fisiologia de pós-colheita de goiabas “Pedro Sato”**: estádios de maturação e padrão respiratório. Piracicaba, 2002. 100p. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2002.

AZZOLINI, M.; JACOMINO, A.P.; BRON, I.U. Índices para avaliar qualidade pós-colheita de goiabas em diferentes estádios de maturação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.39, n.2, p.139-145, 2004.

AZZOLINI, M.; JACOMINO, A.P.; SPOTO, M.H.F. Estádios de maturação e qualidade pós-colheita de goiabas ‘Pedro Sato’. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal - SP, v. 26, n. 1, p. 29-31, Abril 2004.

AZZOLINI, M.; JACOMINO, A.P.; BRON, I.U.; KLUNGE, R.A.; SCHIAVINATO, M.A. Ripening of “Pedro Sato” guava: study on its climateric or no-climateric nature. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v.17, n.3: 299-306, 2005.

AWAD, M. **Fisiologia pós-colheita de frutos**. São Paulo: Nobel, 1993, 114p.

BIANCHI, M.L.P.; ANTUNES, L.M.G. Radicais livres e os principais antioxidantes da dieta. **Rev. Nutr.**, Campinas, v.12, n.2, p.123-130, 1999.

BINOTTI, C.S. **Avaliação quantitativa do método de resfriamento rápido com ar forçado para morangos (*Fragaria x ananassa* Duch), in natura**. Campinas, 2000. 83p. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, 2000.

BLEINROTH, E.W. et al. **Tecnologia de pós-colheita de frutas tropicais**. Campinas: ITAL. 1992. 203p.

BORGUINI, R.G.; OETTERER, M.; SILVA, M.V. Qualidade nutricional de hortaliças orgânicas. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v.37, n.1: pag. 28-35, jan-jun, 2003.

BRACKMANN, A.; STEFFENS, C.A.; MELLO, A.M. Efeito do pré-resfriamento e temperatura de armazenamento na qualidade de ameixas, cvs. Pluma 7 e Reubennel. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.7, n.1, p.18-21, 2001.

BRACKMANN, A.; HUNSCHE, M.; LUNARDI, R. Efeito do atraso no início do armazenamento e do tempo de pré-resfriamento sobre a qualidade da maçã 'Gala'. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.25, n.1, p. 143-148, jan./fev., 2001.

BRASIL, M.I. **Utilização de pectinases e agentes "fining" no processamento de suco integral e clarificação de goiaba (*Psidium guajava* L. Var. Pomífera)**. 1993, 156f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1993.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasília: Ministério da Saúde, 2005. 1018p. (Série A. Normas e Manuais Técnicos).

BRON, I.U.; RIBEIRO, R.V.; CAVALINI, F.C.; JACOMINO, A.P.; TREVISAN, M.J. Temperature-related changes in respiration and Q₁₀ coefficient of guava. **Scientia Agric.** (Piracicaba, Braz.), v.62, n.5, p.458-463, Sept./Oct. 2005.

BRUNINI, M.A.; OLIVEIRA, A.L.; VARANDA, D.B. Avaliação da qualidade de polpa de goiaba 'Paluma' armazenada a -20°C. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 394-396, dezembro 2003.

CAMPBELL, M.K. **Bioquímica**. Trad. FERREIRA, H.F. et al., 3ª. ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2005.

CANTILLANO, R.F.F. **Pré-resfriamento de frutas de clima temperado**. Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Fruteiras de Clima Temperado. Pelotas: 16p., 1986. (Boletim de Pesquisa, 12).

CARDOSO, E.A. **Produtividade e qualidade da goiaba ‘Paluma’ em função da adubação mineral**. Tese (Doutorado em Fitotecnia), Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2005, 58f.

CARMO, S.A. **Conservação pós-colheita de pimentão amarelo ‘Zarco hs’**. 2004. 127 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, 2004.

CARRARO, F.A.; MANCUSO, C.M. **Manual de exportação de frutas**. Brasília, Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária, 1994.

CARVALHO, H.A. **Utilização de atmosfera modificada na conservação pós-colheita da goiaba ‘Kumagai’**. Lavras, 1999, 115p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Ciência de Alimentos, Universidade Federal de Lavras.

CARVALHO, H.A.; CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B.; CARVALHO, H.S. Efeito da atmosfera modificada sobre componentes da parede celular da goiaba. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n.3, p. 605-615, 2001.

CASTRO, L.R. **Análise dos parâmetros relacionados ao resfriamento a ar forçado em embalagens para produtos hortícolas**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, 161p., 2004.

CASTRO, J.V.; PARK, K.J., HONÓRIO, S.L. Determinação de curvas de resfriamento de uvas itália em dois sistemas de acondicionamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.20, n.1, p.34-44, 2000.

CAVALINI, F.C. **Índices de maturação, ponto de colheita e padrão respiratório de goiabas ‘Kumagai’ e ‘Paluma’**. Dissertação escola superior de agricultura Luiz de Queiroz, universidade de São Paulo. Piracicaba – SP, 2004.

CAVALINI, F.C.; JACOMINO, A.P., LOCHOSKI, M.A.; KLUGE, R.A.; ORTEGA, E.M.M. Índices para avaliar qualidade pós-colheita de goiabas em diferentes estádios de maturação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.39, n.2, p.139-145, 2004.

_____. Maturity indexes for ‘Kumagai’ and ‘Paluma’ guavas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 176-179, Agosto 2006.

CEASA/CE - CENTRAL DE ABASTECIMENTO DO CEARÁ S/A -. **Tabela dos principais produtos hortigranjeiros comercializados no ano de 2008**. Disponível em:

<<http://www2.ceasa-ce.com.br/boletins.php?pagina=ppmensais-2008.htm>> Acesso em 09 de fevereiro de 2009.

CECCHI, H.M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. Campinas. Editora da Unicamp, 1999.

CERQUEIRA, T.S. **Recobrimentos comestíveis em goiabas cv. “Kumagai”**. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007, 69p.

CHAU, K.V. **Mathematical modeling of postharvest processes**. Grupo de Tecnologia Pós-Colheita. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas-SP. Apostila. 2001.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B.; CARVALHO, V.D. Algumas características dos frutos de duas cultivares de goiabeira (*Psidium guajava* L.) em fase de maturação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 6., 1981, Recife. **Anais**. Recife: Sociedade Brasileira de Fruticultura, v.2, p.771-780, 1981.

CHITARRA, M.I.F. Qualidade de frutos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.17, n.179, p.8-18, 1994.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2ª. Edição, Lavras: UFLA, 2005. 785p.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: glossário**. 2ª. Edição, Lavras: UFLA, 256p., 2006.

CHOUDHURY, M.M. et al.. **Goiaba: pós-colheita**. Brasília: EMBRAPA, 2001. 45p. (Série Frutas do Brasil).

CORTEZ, L.A.B. et al. **Resfriamento de frutas e hortaliças**. Brasília, DF, Brasil: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 428 p.

COULTATE, T.P. **Alimentos: a química de seus componentes**. Trad. FRAZZON, J. et al., 3ª. ed. Porto Alegre: Artmed, 368p., 2004.

DINCER, I. Thermal cooling data for figs exposed to air cooling. **International Communications Heat Mass Transfer**. v.22, n.4: 559-566. 1995.

DUTCOSKY, S.D. **Análise sensorial de alimentos**, Curitiba: Champagnat, p. 97-103, 1996.

DUSSÁN SARRIA, S.D. **Resfriamento rápido e armazenamento refrigerado do figo (*Ficus carica* L.) “roxo de valinhos” e seus efeitos na qualidade da fruta**. 2003. 165 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola / FEAGRI, Universidade Estadual de Campinas / UNICAMP, Campinas, São Paulo, 2003.

DUSSÁN-SARRIA, S.S.; HONÓRIO, S.L. Condutividade e difusividade térmica do figo (*Ficus carica* L.) “Roxo de Valinhos”. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.24, n.1, p.185-194, 2004.

_____. Parâmetros de resfriamento rápido do figo (*Ficus carica* L.) cv. Roxo de Valinhos embalado em caixa de exportação. **Revista UDO Agrícola** v.5, n.1: 96-102. 2005.

ENGEL, V.L.; POGGIANI, F. Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu aspecto de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, v.3, n.1, p.39-45, 1991.

FERREIRA NETO, J. et al. Avaliação das Câmaras frias usadas para o armazenamento de frutas e hortaliças no entreposto terminal de São Paulo (CEAGESP). **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal: 2006, vol. 26, no. 3 p. 832-839.

FERRI, V.C.; ROMBALDI, C.V. Resfriamento rápido e armazenamento de caquis (*Diospyrus kaki*, L.), cv. Fuyu, em condições de atmosfera refrigerada e modificada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 36-39, 2004.

FONTANA, A.J.; VARITH, J.; IKEDIALA, J.; REYES, J.; WACKER, B. Thermal properties of selected foods using a dual needle heat-pulse sensor. In: **ASAE/CSAE -SCGR 1999 MEETING**, 1999, Toronto. Proceedings... St Joseph: ASAE, 1999, 10p.

FRANÇA, F. M.C.; LIMA, A.R.M.; COSTA, C.A.G.; EVANGELISTA, F.R.; RODRIGUES, M.T.; FERNANDES, J.I.C. PEREIRA NETO, A.; MARQUES, R.L.M. **Documento referencial do pólo de desenvolvimento integrado baixo Jaguaribe no estado do Ceará**. Disponível em: <http://200.253.194.7/content/Aplicacao/ETE/NE/Rede_Irrigacao/Docs/Documento%20Referencial%20do%20Polo%20Baixo%20Jaguaribe.PDF> Acesso em: 09 de março de 2009.

FREITAS, L.M. S.; ROCHA, M.S.; FREITAS, G.B.; BARROS, J.N.G.; RESENDE, L.A.; MENDES, B.O.T.; LIU, I.M.; LIU, Y.M.; MATTOS, U.J.B.M.; BARRELLA, T.P. Produção de goiaba (*Psidium guajava*) cv. Paluma em função de diferentes adubações orgânicas. XX

Congresso Brasileiro de Fruticultura / 54th Annual Meeting of the Interamerican Society for Tropical Horticulture In: **Anais...** Vitória, 2008.

FUNCEME – **Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos**. Disponível em <<http://www.funceme.br>> Acesso em 16 de fevereiro de 2009.

GARRUTI, D.S.; BRITO, E.S.; BRANDÃO, T.M.; UCHÔA Jr, P.; SILVA, M.A.A.P. Desenvolvimento do perfil sensorial e aceitação de requeijão cremoso. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v.23, n.3: 434-440, set-dez, 2003.

GAST, K.L.B.; FLORES, R. Precooling produce: fruits and vegetables. **Postharvest management of commercial horticultural crops**. Cooperative Extension Service, Manhattan, 1991.

GEESON, J. D. Cooling and storage of fruits and vegetables. **The Proceedings of The Institute of Refrigeration**, v.85, p.65-74, 1989.

GONGATTI NETTO, A. et al. **Goiaba para exportação**: procedimentos de colheita e pós-colheita. Brasília: Embrapa – SPI, 1996. 35p. (Publicações Técnicas FRUPEX; 20).

GONZAGA NETO, L. **Cultura da goiabeira**. Petrolina: Embrapa-CPATSA, 1990. 26p. (Embrapa-CPATSA. Circular técnica, 23).

GONZAGA NETO, L.; CRISTO, A.S.; CHOUDHURY, M.M. Conservação pós-colheita de frutos de goiabeira, cultivar Paluma. **Pesquisa agropecuária brasileira**. Brasília, v.34, n.1, p.1-6, 1999.

GONZAGA NETO, L.; SOARES, J. M. **Goiaba para exportação**: aspectos técnicos da produção. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 49p. (Série Publicações Técnicas FRUPEX, 5).

HARDENBURG, R.E.; WATADA, A.E.; WANG, C.Y. **The Comercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks**. United States Department of Agriculture, Agriculture Handbook n. 66, 1990.

HOJO, R.H.; CHALFUN, N.N.J.; HOJO, E.T.D.; SOUZA, H.A.; PAGLIS, C.M.; SÃO JOSÉ, A.R. Caracterização fenológica da goiabeira 'Pedro Sato' sob diferentes épocas de poda. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 2007, v.29, n.1, p.20-24. 2007.

IDE, C.D.; CARVALHO, S.M.P.; SILVA, J.A.C.; COSTA, R.A. **A cultura da goiaba: perspectivas, tecnologias e viabilidade**. Niterói: PESAGRO-RIO, 2001. p. 36. (Documentos, 72).

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal 2007**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>, acesso em 29 de dezembro de 2008.

IBRAF- Instituto Brasileiro de Frutas. **Revista Frutas e Derivados**. p.19-26. Ano 2, ed.5, 2007.

JACOMINO, A.P.; ARRUDA, M.C.; BRON, I.U.; KLUNGE, R.A. Transformações bioquímicas em produtos hortícolas após a colheita. In: KOBLITZ, M.G. **Bioquímica de alimentos: teoria e aplicações práticas**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. cap. 6, p. 154-189.

KADER, A.A. **Postharvest Technology of Horticultural Crops**, 2nd edition, Coop. Ext. Uni. of Ca. Division of Agriculture and Natural Resources. Universidade da Califórnia. Publ. n.3311, 295p., 1992.

KAYS, J.S. **Postharvest physiology of perishable plant products**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 453 p.

KLUGE, R.A. et al. **Fisiologia e manejo pós-colheita de frutas de clima temperado**. 2 ed. Campinas: Livraria e Editora Rural Ltda., 2002. 214p.

LEAL, P. A. M., CORTEZ, L. A. B. Métodos de Pré-Resfriamento de Frutas e Hortaliças. In: **II Curso de Atualização em Tecnologia de Resfriamento de Frutas e Hortaliças**. Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola (UNICAMP). p. 81-91. 1998.

LIMA, E.A.. **Produtividade e qualidade de frutos da goiabeira “Paluma” em função da adubação mineral**. 2005. 58 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

LIMA, M.A.C.; ASSIS, J.S.; GONZAGA NETO, L. Caracterização dos frutos de goiabeira e seleção de cultivares. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 24, n. 1, p. 273-276, 2002.

LIMA, M.A.; DURIGAN, J.F. Reguladores vegetais na conservação pós-colheita de goiabas ‘Paluma’. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 370-375, agosto 2002.

LIMA, B.S.; AFONSO, M.R.A.; COSTA, J.M.C.; SANTOS, S.M.L.; SIQUEIRA, A.M.A.; ROCHA, V. Parâmetros de Resfriamento Rápido de Cajá (*Spondia mombim* L). In: XXI Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos/XV Seminário Latino Americano e do Caribe de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2008, Belo Horizonte. **Anais...**, 2008.

LINHARES, L.A.; SANTOS, C.D.; ABREU, C.M.P.; CORRÊA, A.D. Transformações químicas, físicas e enzimáticas de goiabas 'Pedro Sato' tratadas na pós-colheita com cloreto de cálcio e 1-metilciclopropeno e armazenadas sob refrigeração. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 829-841, 2007.

LOPES, J.G.V. **Produtor de goiaba**. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, Instituto Centro de Ensino Tecnológico, 2006, 48 p.

LOUZADA, M.I.F.; SESTARI, I.; HELDWEIN, A.B. Pré-resfriamento de maçã (*Malus domestica Borkh.*), cv. Fuji, em função da temperatura e velocidade do ar. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 2003, v.25, n.3, p.555-556.

MACHADO, F.L.C. **Conservação pós-colheita de melão cantaloupe 'Hy-Mark' tratado com 1-metilciclopropeno minimamente processado submetido á aplicação de cálcio**. 2003. 96 f. Dissertação de mestrado. Escola Superior de Agricultura de Mossoró. Mossoró, 2003.

MAGALHÃES, J.S.B. **Análise econômica e mercadológica das frutas irrigadas do Ceará**. Instituto Agropolos do Ceará. 46p. 2006.

MANICA, I.; ICUMA, I.M.; JUNQUEIRA, N.T.V.; SALVADOR, J.O.; MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. **Fruticultura Tropical**: goiaba. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2000. 373p.

MARANGA, G. **Fruticultura comercial**: mamão, goiaba e abacaxi. São Paulo: Nobel, 6ª. edição. 1977. 118 p.

MATTIUZ, B.H.; DURIGAN, J.F. Efeito de injúrias mecânicas no processo respiratório e nos parâmetros químicos de goiabas 'Paluma' e 'Pedro Sato'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 23, n. 2, p. 282-287, agosto 2001.

MATTIUZ, B.; DURIGAN, J.F; ROSSI JUNIOR, O.D. Processamento mínimo em goiabas 'Paluma' e 'Pedro Sato': Avaliação química, sensorial e microbiológica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. 2003, v. 23, n. 3, pp. 409-413.

MATSUURA, F.C.A.U., et al.. **Banana: Pós-Colheita**. Brasília: Embrapa, 2001, no. 16. 71 p. (Série Frutas do Brasil).

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G.V.; CARR, B.T. **Sensory Evaluation Techniques**. 2ed. Florida-USA: CRC Press, 1991.

MEIRA, T.R.; SIQUEIRA, A.M.A.; COSTA, J.M.C. Caracterização físico-química da Goiaba. In: XXVII Encontro de Iniciação à Pesquisa, 2008, **Anais...** Fortaleza. XXVII XXVII Encontro de Iniciação à Pesquisa, 2008.

MELO, R.B. **Conservação de melão Orange Flesh submetido à aplicação pós-colheita de 1-MCP (1-metilciclopropeno)**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal do Ceará. 73f. Fortaleza, 2005.

MERCADO-SILVA, E.; BAUTISTA, P.B.; GARCIA-VELASCO, M.A. Fruit development, harvest index ripening changes of guavas produced in central Mexico. **Postharvest Biology and Technology**, v.13, p.143-150, 1998.

MINIM, V. P. R. **Análise Sensorial estudos com consumidores**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, p. 225, 2006.

MOHSENIN, N. N. **Physical properties of plant and animal materials**. New York, NY. Gordon and Breach Pub. Inc. 1978. 742p.

MORAES, C. **Frutas na mesa: Goiaba delicia nacional**. Frutas e Derivados. IBRAF – Instituto Brasileiro de Frutas. Ano 2. Edição 07. set. 2007.

NUNES, A.S.; PARK, K.J.; FABBRO, I.M.D.; PARK, J.K.B.; BROD, F.P.R. Métodos de determinação experimental da condutividade e difusividade térmica de materiais biológicos – revisão. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v.36, n.1: p.55-68, jan-jun, 2002.

ODININO, L.G.Q; TERUEL, B.M. Estudo experimental para a caracterização do processo de resfriamento rápido de goiaba num sistema com ar forçado. In.: **XI Congresso Interno de Iniciação Científica da UNICAMP**. 2003.

OLIVEIRA, M.A. **Utilização de película de fécula de mandioca como alternativa à cera na conservação pós-colheita de frutos de goiaba (*Psidium guajava*)**. 1996. 73f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1996.

ORDÓÑEZ, J.A.P. **Tecnologia de Alimentos: Componentes dos Alimentos e Processos**. Porto Alegre: Artmed, vol. 1., 294p., 2005.

PEREIRA, A.C.S. **Qualidade e atividade antioxidante total de frutas tropicais oriundas de cultivars comerciais produzidas no Ceará**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza- CE, 2009.

PEREIRA, F.M. **Cultura da goiabeira**. Jaboticabal: FUNEP, 1995, 48 p.

PEREIRA, F.M.; CARVALHO, C.A.; NACHTIGAL, J.C. Século XXI: nova cultivar de goiabeira de dupla finalidade. **Revista Brasileira de Fruticultura**. 2003, v. 25, n. 3, pp. 498-500.

PEREIRA, L.M.; RODRIGUES, A.C.C.; SARANTÓPOULOS, C.I.G.L.; JUNQUEIRA, V.C.A.; CARDELLO, H.M.A.B.; HUBINGER, M.D. Vida-de-prateleira de goiabas minimamente processadas acondicionadas em embalagens sob atmosfera modificada. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.23, n.3: p.427-433, 2003.

PEREIRA, T.; CARLOS, L.A.; OLIVEIRA, J.G.; MONTEIRO, A.R. Características físicas e químicas de goiaba cv. Cortibel (*Psidium guajava*) estocadas sob refrigeração em filmes X-Tend. **Revista Alimentos e Nutrição**, Araraquara v. 16, n. 1, p. 11-16, jan./mar. 2005.

PINTO, L.C.B. **Qualidade e conservação de pêssegos com utilização de 1-MCP e resfriamento rápido**. Tese (Doutorado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia Agrícola / FEAGRI, Universidade Estadual de Campinas / UNICAMP, Campinas, SP: [s.n.], 2005. 55p.

PINTO, L.C.B.; JORGE, J.T. Utilização de 1-metilciclopropeno e resfriamento rápido na conservação de pêssegos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.1, p.238-246, jan./abr. 2007.

PIROZZI, D.C.Z.; AMENDOLA, M. Modelagem matemática e simulação numérica do resfriamento rápido de morango com ar forçado. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.1, p.222-230, 2005.

QUEIROZ, V.A.V. **Qualidade de goiaba (*Psidium guajava* L.) submetida aos processos de desidratação por imersão-impregnação e secagem por convecção**. Campos dos Goytacazes, 2006, 137p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. 2006.

QUEIROZ, V.A.V.; BERBERT, P.A.; MOLINA, M.A.B.; GRAVINA, G.A.; QUEIROZ, L.R.; SILVA, J.A. Qualidade nutricional de goiabas submetidas aos processos de desidratação por imersão-impregnação e secagem complementar por convecção. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. 2008, v. 28, n. 2, pp. 329-340.

RIEDEL, L. Measurement of thermal diffusivity on foodstuffs rich in water. **Kaltetechnik-Klimatisierung**, Karlsruhe, v.21, n.11, p.315-6, 1969.

RIBEIRO, V.G.; ASSIS, J.S; SILVA, F.F.; SIQUEIRA, P.P.X.; VILARONGA, C.P.P. Armazenamento de goiabas ‘Paluma’ sob refrigeração e em condição ambiente, com e sem experimento com cera de carnaúba. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal, v.27, n. 02, p. 203-206. 2005.

ROCHA, V.; AFONSO, M.R.A.; COSTA, J.M.C.; SANTOS, S.M.L.; SIQUEIRA, A.M.A.; LIMA, B.S. Resfriamento Rápido de Acerola por Ar-Forçado. In: XXI Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos/XV Seminário Latino Americano e do Caribe de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2008, Belo Horizonte. **Anais...**, 2008.

RODRIGUES, M.I.; IEMMA, A.F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**: uma estratégia sequencial de planejamentos. 1ª edição, Campinas: Casa do Pão Editora, 2005. 326 p.

ROSA, M.C.; FARIA, O.; AMANTE, E.R. O padrão respiratório na estocagem de produtos vegetais – uma revisão. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v.33, n.2: p.207 – 214, jul/dez, 1999.

SAABOR, LOPES, A.; L.H.S.; CUNHA, M.M.; LEÃO, R.Z.R.; FERNANDES, C. Goiaba: Ceará. **FrutiSéries 1**. Ministério da Integração Nacional, Brasília, Setembro/2001.

SABADIA, R. Exportações do agronegócio cearense: perspectivas para 2007. **Informativo do Agronegócio Cearense**. Instituto Agropolos do Ceará. Edição 01. Setembro de 2007.

SANINO, A. **Conservação de tomate (*Lycopersicum esculentum*), ‘Débora’, submetido a diferentes condições de resfriamento e aquecimento intermitente**. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, 75, 2004.

SANINO, A.; CORTEZ, L.B.; TERUEL, B. M. Vida de prateleira do tomate (*Lycopersicum esculentum*), cultivar “Débora”, submetido a diferentes condições de resfriamento. **Workshop de tomate**: Perspectivas e pesquisas, Campinas, 2003.

SILVA, M.; CAVALCANTE MATA, M.E.R.M.; DUARTE, M.E.M.; PEDROZA, J.P.; NASCIMENTO, J.P.T. Resfriamento e propriedades termofísicas do cajá (*Spondias lutea* L.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.2, p.175-185, 2002.

SIQUEIRA, A.M.A.; AFONSO, M.R.A.; COSTA, J.M.C.; SANTOS, S.M.L.; LIMA, B.S.; ROCHA, V. Parâmetros do Resfriamento Rápido por Ar Forçado de Goiaba. In: XXI Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos / XV Seminário Latino Americano e do Caribe de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2008, Belo Horizonte. **Anais...**, 2008.

SPAGNOL, W.A.; ROCHA, J.L.V.; PARK, K.J. Modelamento matemático do pré-resfriamento de frutas e hortaliças: uma revisão. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.23, n.3/4, p.192-200, 1989.

SPAGNOL, W. A; SIGRIST, J. M. M. Pré-resfriamento. **Tecnologia pós-colheita de frutas tropicais**. Manual n.9. ITAL, Campinas 1992.

STASOFT. Statistica for Windows (computer program manual). Tulsa, OK: Statsoft, 1995.

STROHECKER, R., HENNING, H.M. **Analisis de vitaminas**: métodos comprobados. Madrid: Paz Montalvo, 1967. 428p.

SUN, D.W.; BROSANAN, T. Extension of the vase life of cut daffodil flowers by rapid vacuum cooling. **International Journal of Refrigeration**, v.22, n.6, p.472-478, 1999.

SWEAT, V. E. Experimental values of thermal conductivities of selected fruits and vegetables. **Journal Food Science**. n.39. p. 1081-1083. 1974.

TABOLT, M.T.; CHAU, K.V. Precooling Strawberries. **Institute of Food and Agricultural Sciences**. University of Florida Circular 492, 1991, 8p.

TANABE, C.S.; CORTEZ, L.A.B. Perspectivas da cadeia do frio para frutas e hortaliças no Brasil. MERCOFRIO 98 - **Feira e Congresso de Ar Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação do Mercosul**. 1998.

TERUEL, M. B. **Estudo teórico – experimental do resfriamento de laranja e banana com ar forçado**. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica/UNICAMP, 2000. 300p. (Tese de Doutorado).

TERUEL, B.; CORTEZ, L.A.; LEAL, P.; LIMA, A.G.B. Estudo teórico do resfriamento com ar forçado de frutas de geometrias diferentes. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.21, n.2: p.228-235, maio-ago. 2001.

TERUEL, B.; CORTEZ, L.A.; LEAL, P.; NEVES FILHO, L. Resfriamento de banana-prata com ar forçado. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 24, n. 1, p. 142-146, 2002a.

_____. Avaliação preliminar dos custos de resfriamento de laranja in natura. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.24, n.1, p.86-90, 2002b.

TERUEL, B.; CORTEZ, L.; NEVES FILHO, L. Estudo comparativo do resfriamento de laranja valência, em três sistemas de resfriamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.3, p.481-486, 2001.

_____. Estudo comparativo do resfriamento de laranja valência com ar forçado e com água. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas: v.23, n.2, p. 174-178. 2003.

TERUEL, B.; KIECKBUSCH, T.; CORTEZ, L. Cooling parameters for fruits and vegetables of different sizes in a hydrocooling system. **Scientia Agricola**, v.61, n.6, p.655-658, 2004.

TERUEL, B.; SILVEIRA, P.; MARQUES, F.; CAPPELLI, N. Interface homem-máquina para controle de processos de resfriamento com ar forçado visando à economia de energia. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 38, n.3, p.705-710, 2008.

THOMPSON, J. F.; MITCHELL, F. G.; RUMSEY, T. R.; KASMIRE, R. F.; CRISOSTO, C. H. **Commercial cooling of fruits, vegetables and flowers**. Revised edition University of California, Agriculture and Natural Resources, Publication 21567, Oakland, 2002.

THOMPSON, J. F.; MITCHELL, F. G.; RUMSEY, T. R.; KASMIRE, R. F.; CRISOSTO, C.H. **Commercial Cooling of Fruits, Vegetables and Flowers**, Cap. 4 e 5. Universidade da Califórnia – Divisão de agricultura e recursos naturais, Publicação 21567, p.33-34, 1998.
TORREGGIANI, D.; BERTOLO, G. Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. **Journal of Food Engineering**, v. 49, n. 2-3, p. 247-253, 2001.

VENÂNCIO, T.; ENGELSBERG, M.; AZEREDO, R.B.V.; COLNAGO, L.A. Metodologia de medida da difusividade térmica por RMN-CWPF. **Comunicado Técnico 72**. São Carlos, ISSN 1517-4786. 5p., 2006.

VIEIRA, S.M. J.; COUTO, S.M.; CORRÊA, P.C.; SANTOS, A.E.O.; CECOM, P.R.; SILVA, D.J. P. Características físicas de goiabas (*Psidium guajava* L.) submetidas a experimento hidrotérmico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.4, p.408–414, 2008.

VIGNEAULT, C.; GOYETTE, B. Fruit and Vegetable Precooling. **A Training Seminar of the NB Fruit Growers Association Inc.** Québec. Fevereiro, 1994.

VILA, M.T.R.; LIMA, L.C.O. VILAS BOAS, E.V.B.; HOJO, E.T.D.; RODRIGUES, L.J.; PAULA, N.R.F. Caracterização química e bioquímica de goiabas armazenadas sob refrigeração e atmosfera modificada. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 5, p. 1435-1442, 2007.

VILAS BOAS, E.V.B.; REIS, C.M.F.; MELO, A.A.M. Uso de misturas químicas para a manutenção da firmeza de banana 'Prata' minimamente processada. **Revista Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 33, n. 1, p. 237-244, jan./fev., 2009.

VISSOTTO, F.Z.; KIECKBUSH, T.G.; NEVES FILHO, L.C. Pré-resfriamento de frutas e hortaliças com ar-forçado. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v.33, n.1: p. 106-114, jan/jun, 1999.

APÊNDICE