

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**RESFRIAMENTO RÁPIDO COM AR FORÇADO PARA  
CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE ALFACE  
“CRESPA”**

*Silvia Antoniali*

**Orientador: Prof. Dr. Luís Augusto Barbosa Cortez**

Dissertação apresentada à FEAGRI – UNICAMP como cumprimento parcial dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, na Área de Concentração: Tecnologia de Pós-Colheita.

Campinas – SP

Março – 2000

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

An88r Antoniali, Silvia  
Resfriamento rápido com ar forçado para  
conservação pós-colheita de alface “crespa” / Silvia  
Antoniali.--Campinas, SP: [s.n.], 2000.

Orientador: Luís Augusto Barbosa Cortez.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual  
de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Alface. 2. Tecnologia pós-colheita. 3.  
Resfriamento rápido. I. Cortez, Luís Augusto  
Barbosa. II. Universidade Estadual de Campinas.  
Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

## PARECER

Este exemplar corresponde a redação final da dissertação de mestrado defendida pela Engenheira Agrônoma Silvia Antoniali e aprovada pela Comissão Julgadora em 22 de março de 2000. Campinas, 10 de julho de 2000.

Prof. Dr. Luís Augusto Barbosa Cortez  
Presidente da Banca

*"Não existe derrota que derrote quem nasceu para  
vencer".*

*Amôximo*

*Aos meus pais, Antonio e Célia, pelo apoio em todos os momentos de minha vida e principalmente pelo amor.*

*Aos meus irmãos Cristina, Fernando, Marcos e Flávio, pela força amizade e amor.*

*À minha sobrinha, Daniela, pelas alegrias que tem me proporcionado desde o dia que nasceu.*

*À Deus, criador de tudo.*

#### *OFEREÇO*

*Ao meu namorado, Ruy Roberto, pela compreensão e amizade.*

#### *DEDICO*

## **AGRADECIMENTOS**

**À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo, FAPESP, pelo apoio financeiro.**

**Ao Prof. Dr. Luís Augusto Barbosa Cortez, pela orientação deste trabalho.**

**Aos professores, Dr. José Fernando Durigan e Dr. Vivaldo Silveira, pelas valiosas sugestões.**

**Aos professores, Dr. Sylvio Luís Honório e Dr. Paulo Leal pelos conselhos e amizade.**

**À pesquisadora, Claire I.G.L. Sarantópoulos, pelo incentivo, amizade e conhecimentos oferecidos.**

**Ao pesquisador, José Maria Monteiro Sigrist, por transmitir-me sua experiência profissional e todos os conselhos durante esses anos de convivência e pela ajuda na redação desta dissertação.**

**À Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Elaine Borghi, pela ajuda na realização das análises estatísticas, além da amizade.**

**Às funcionárias da FEAGRI – UNICAMP, dona Cida, dona Laura, Marta, Tuca, Marivone e Terezinha pela amizade e ajuda nas análises sensoriais.**

**Aos amigos, Larissa, Sara, Cibele, Celso, Rodrigo, Joel e Edgardo, pela gostosa convivência e pela ajuda no laboratório.**

**À Eng. Agrícola, Larissa Rodrigues de Castro, pela forte amizade conquistada e pela ajuda prestada principalmente na redação do abstract.**

**Às amigas, Patrícia, Helga, Christiane e Juliana pela convivência, paciência, incentivo, conselhos e profunda amizade estabelecida durante esses anos sobre o mesmo teto.**

**À todos os amigos e funcionários da faculdade pela convivência e amizade.**

**E à todos que direta ou indiretamente contribuíram na realização deste trabalho.**

*Obrigada*

## ÍNDICE

RESUMO.....	xi
ABSTRACT .....	xiv
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 OBJETIVO.....	5
3 REVISÃO DE LITERATURA .....	6
3.1 Alface.....	6
3.1.1 Aspectos da Cultura.....	6
3.1.2 Colheita.....	7
3.1.3 Importância Econômica .....	8
3.2 Perdas Agrícolas.....	9
3.3 Refrigeração de Produtos Agrícolas .....	11
3.4 Resfriamento Rápido de Produtos Agrícolas .....	13
3.5 Tipos de Resfriamento .....	14
3.5.1 Resfriamento em Câmara Frigorificada .....	14
3.5.2 Resfriamento Rápido a Vácuo .....	15
3.5.3 Resfriamento Rápido com Ar Forçado.....	16
3.6 Perda de Peso dos Produtos Agrícolas .....	19
3.7 Filmes Plásticos .....	22
3.8 Caixas Plásticas.....	23
3.8.1 Abertura nas Caixas para a Ventilação.....	27
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
4.1 Matéria Prima.....	29

4.2	Sistemas de Embalagens .....	31
4.2.1	Filmes Plásticos .....	31
4.2.2	Embalagens Plásticas.....	31
4.3	Transporte da Alface.....	33
4.4	Caracterização do Lote.....	33
4.5	Sistema de resfriamento rápido .....	35
4.5.1	Câmara de armazenagem frigorificada.....	35
4.5.2	Túnel Californiano.....	37
4.5.2.1	Ventilador.....	39
4.5.2.2	Determinação da velocidade do ar.....	41
4.5.2.3	Sistema de resfriamento rápido com ar forçado.....	42
4.6	Experimentos realizados.....	44
4.7	Delineamento Experimental.....	48
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
5.1	Processo de Resfriamento Rápido.....	49
5.2	Perda de Peso .....	57
5.2.1	Perda de Peso Durante o Processo de Resfriamento .....	57
5.2.2	Perda de Peso na Armazenagem Refrigerada. ....	62
5.3	Análise Sensorial .....	69
5.3.1	Murchamento.....	69
5.3.2	Qualidade Geral.....	75
5.3.3	Coloração .....	80
5.3.4	Injúrias nas folhas.....	84

6	CONCLUSÕES .....	88
7	SUGESTÕES .....	90
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	92
9	APÊNDICE A.....	99
9.1	Caixas plásticas e suas dimensões. ....	99
9.2	Caixas plásticas e os pontos de leitura da velocidade .....	100
10	APÊNDICE B.....	101
10.1	Desempenho do ventilador .....	101
10.2	Dimensão do motor do ventilador .....	101
10.3	Dimensões do ventilador acoplado no túnel. ....	102
11	APÊNDICE C.....	103
11.1	Dados de velocidade para cada tratamento.....	103

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Porcentual por tipos de alface comercializada de 1993 a 1997 na CEAGESP. Fonte: CEAGESP (1998). .....	9
Figura 2 – Representação da passagem do ar pelo produto. ....	16
Figura 3 – Representação da passagem do ar pela caixa plástica. ....	17
Figura 4 - Tipos de caixas utilizadas na comercialização de produtos hortícolas. ....	25
Figura 5 – Alface crespa, cv. Verônica. ....	30
Figura 6 – Filmes plásticos utilizados no resfriamento rápido de alface. ....	31
Figura 7 – Caixas plásticas utilizadas no experimento: caixa plástica C-23 da Plastgrup (cor preta) e caixa plástica modelo 327 da Jody Plast (cor branca)...	32
Figura 8 - Caixa plástica modelo 327 da Jody Plast com detalhe das aberturas. ....	32
Figura 9 - Caixa plástica C-23 da Plastgrup com detalhe das aberturas. ....	32
Figura 10 – Esquema da câmara de armazenagem frigorificada e suas dimensões. ....	35
Figura 11 – Câmara de armazenagem frigorificada utilizada para a realização do experimento. ....	36
Figura 12 – Distribuição dos equipamentos de refrigeração na câmara frigorificada. ....	37
Figura 13 – Sistema de resfriamento por ar forçado, tipo túnel californiano. ....	38
Figura 14 - Ventilador centrífugo utilizado no resfriamento rápido com ar forçado. ...	40
Figura 15 – Esquema representativo dos pontos onde foram realizadas as leituras de velocidade do ar com auxílio de um anemômetro de fio quente. ....	42
Figura 16 - Colocação dos tremopares no interior do produto. ....	46
Figura 17 - Túnel de resfriamento rápido com ar forçado. ....	47

Figura 18 - Disposição das caixas plásticas com produto na câmara de armazenagem para determinação da vida de prateleira. ....	47
Figura 19 - Relação entre o tempo para se atingir 7/8 do resfriamento e a velocidade do ar empregada. ....	49
Figura 20 - Curva de resfriamento para as alfaces submetidas aos tratamentos com a maior velocidade do ar ( $1,24\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). ....	51
Figura 21 - Curva de resfriamento para as alfaces submetidas aos tratamentos com a velocidade média do ar ( $1,07\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). ....	52
Figura 22 - Curva de resfriamento para as alfaces submetidas aos tratamentos com a menor velocidade do ar ( $0,83\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). ....	53
Figura 23 - Curva de resfriamento para os tratamentos submetidos ao resfriamento em câmara frigorificada. ....	55
Figura 24 - Perda de peso da alface durante o processo de resfriamento usando-se diferentes tratamentos. ....	58
Figura 25 - Perda de peso da alface durante o armazenamento para determinação da vida de prateleira usando diferentes tratamentos. ....	63
Figura 26 - Murchamento das alfaces durante o armazenamento para determinação da vida útil. ....	70
Figura 27 - Qualidade geral das alfaces durante o armazenamento para determinação da vida útil. ....	76
Figura 28 - Coloração das alfaces durante o armazenamento para determinação da vida útil. ....	81

Figura 29 - Injúrias nas folhas de alfaces durante o armazenamento para determinação da vida útil. ....	85
Figura 30 - Caixa plástica modelo 327 da Empresa Jody Plast com os pontos onde foi realizada a leitura dos pontos para a determinação das velocidades. ....	100
Figura 31 - Caixa plástica C-23 da Empresa Plastgrup com os pontos onde foi realizada a leitura dos pontos para a determinação das velocidades. ....	100
Figura 32 - Curva dos melhores pontos de trabalho para o desempenho do ventilador Torin® BSC 457 - 243. ....	101
Figura 33 - Motor do ventilador utilizado no resfriamento rápido com ar forçado....	101
Figura 34 - Dimensões do túnel de resfriamento. Ventilador com o suporte de madeira. ....	102

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Perdas, na cidade de São Paulo, na comercialização final de produtos hortícolas nos anos 1973/74 e 1991/92. ....	10
Tabela 2 - Tipos de embalagens convencionais utilizadas por diferentes produtos hortícolas.....	25
Tabela 3 – Caracterização inicial do material utilizado.....	34
Tabela 4 - Análise de variância da inclinação das curvas para todos os tratamentos. ....	57
Tabela 5 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para perda de peso durante o processo de resfriamento comparando os filmes utilizados, com nível de significância de 5%.....	59
Tabela 6 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para perda de peso durante o processo de resfriamento comparando as velocidades utilizadas, com nível de significância de 5%. ....	59
Tabela 7 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para perda de peso durante o processo de resfriamento comparando as interações entre os filmes plásticos e as velocidades utilizadas, com nível de significância de 5%. ....	61
Tabela 8 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para perda de peso durante a armazenagem refrigerada comparando os filmes utilizados, com nível de significância de 5%. ....	64
Tabela 9 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para perda de peso durante a armazenagem refrigerada comparando as velocidades utilizadas, com nível de significância de 5%. ....	64

Tabela 10 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para perda de peso durante a armazenagem refrigerada comparando as interações caixas - velocidades, com nível de significância de 5%.....	66
Tabela 11 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para perda de peso durante a armazenagem refrigerada comparando as interações entre os filmes plásticos e as velocidades utilizadas, com nível de significância de 5%.....	66
Tabela 12 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para perda de peso durante a armazenagem refrigerada comparando as interações entre as caixas, os filmes plásticos e as velocidades utilizadas, com nível de significância de 5%.....	68
Tabela 13 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para murchamento durante a armazenagem refrigerada comparando os filmes utilizados, com nível de significância de 5%.....	71
Tabela 14 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para murchamento durante a armazenagem refrigerada comparando as velocidades utilizadas, com nível de significância de 5%.....	71
Tabela 15 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para murchamento durante a armazenagem refrigerada comparando as interações caixas - velocidades, com nível de significância de 5%.....	72
Tabela 16 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para murchamento durante a armazenagem refrigerada comparando as interações entre as caixas, os filmes plásticos e as velocidades utilizadas, com nível de significância de 5%.....	74

Tabela 17 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para qualidade geral durante a armazenagem refrigerada comparando os filmes utilizados, com nível de significância de 5%. .....	78
Tabela 18 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para qualidade geral durante a armazenagem refrigerada comparando as caixas utilizadas, com nível de significância de 5%. .....	78
Tabela 19 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para qualidade geral durante a armazenagem refrigerada comparando as velocidades utilizadas, com nível de significância de 5%. .....	79
Tabela 20 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para qualidade geral durante a armazenagem refrigerada comparando as interações caixas - velocidades, com nível de significância de 5%. .....	79
Tabela 21 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para coloração durante a armazenagem refrigerada comparando os filmes utilizados, com nível de significância de 5%. .....	82
Tabela 22 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para coloração durante a armazenagem refrigerada comparando as velocidades utilizadas, com nível de significância de 5%. .....	82
Tabela 23 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para coloração durante a armazenagem refrigerada comparando as interações caixas - velocidades, com nível de significância de 5%. .....	83
Tabela 24 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para injúrias nas folhas durante a armazenagem refrigerada comparando as velocidades utilizadas, com nível de significância de 5%. .....	86

Tabela 25 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para injúrias nas folhas durante a armazenagem refrigerada comparando as interações caixas - velocidades, com nível de significância de 5%.....	87
Tabela 26 - Relação das velocidades referentes a cada tratamento.....	103

## **RESUMO**

Um fator ambiental muito importante e que afeta diretamente nos processos fisiológicos das hortaliças é a temperatura. Para a conservação pós-colheita de hortaliças, visando aumentar sua vida de prateleira e reduzir as perdas na comercialização, a refrigeração é o primeiro passo a seguir. Quanto mais rápido for reduzido o calor de campo dos produtos hortícolas, melhor será o processo de conservação pós-colheita. O resfriamento rápido, com ar forçado, vem como uma alternativa de resfriamento, o qual se mostra mais rápido que o resfriamento em câmara e mais barato que o resfriamento a vácuo. Para tal é necessário a utilização de embalagens protetoras (filmes plásticos) e embalagem contentoras (caixas plásticas).

O objetivo deste trabalho foi estudar a utilização do resfriamento rápido, com ar forçado, como uma tecnologia de pós-colheita, visando a manutenção da qualidade e o aumento da vida útil da alface, e conseqüentemente redução das perdas.

Para a realização dos ensaios foi utilizada a alface crespa, dois tipos de caixas plásticas, 3 tipos de filmes plásticos e foi aplicado o resfriamento rápido com ar forçado em 3 diferentes velocidades. Como critério de comparação foi realizado um controle onde foi feito o resfriamento em câmara frigorificada. Estes produtos foram avaliados quanto ao tempo de resfriamento nas 3 velocidades estudadas, à perda de peso durante o processo de resfriamento rápido e durante a armazenagem e à análise sensorial dos diferentes produtos.

Verificou-se que utilizando a maior velocidade ( $1,24 \text{ m.s}^{-1}$ ) o tempo de resfriamento foi de 1 hora e 25 minutos e com a menor velocidade ( $0,83 \text{ m.s}^{-1}$ ) o tempo de resfriamento foi de 1 hora e 29 minutos. Para o tratamento testemunha no qual não utilizou-se o resfriamento rápido com ar forçado, o produto demorou 28 horas e 23 minutos para atingir a temperatura do tempo de  $7/8$  do resfriamento.

Com relação a vida útil do produto, verificou-se que as alfaces resfriadas rapidamente foram conservadas por 23 dias em condições para comercialização enquanto que o produto resfriado em câmara convencional aos 16 dias de armazenagem não apresentavam mais condições de comercialização.

Determinou-se então que o resfriamento rápido com ar forçado é uma alternativa para conservação pós-colheita de alface, e que a combinação com caixas plásticas e filmes plásticos como forma de proteção do produto, pode-se reduzir

perdas na pós-colheita desta hortaliça conservando suas qualidades, aumentar a vida de prateleira, melhorando assim o custo benefício dos envolvidos e proporcionando ao consumidor final maior satisfação.

## **ABSTRACT**

Temperature is an important environmental factor that affects directly the vegetable physiological processes. Cooling is the first step to follow in order to increase shelf life and reduce product loss at commercialization. The faster the field heat of vegetables is removed, the better the postharvest conservation process will be. The forced air precooling is a cooling alternative faster than room cooling and cheaper than vacuum cooling. In this case, the use of plastic films and plastic packages is necessary.

The goal of this research was to evaluate the use of forced air precooling as a postharvest technology to maintain quality, increase the lettuce shelf life and reduce its losses.

In the experiment it was used the crisped lettuce, 2 types of plastic box, 3 types of plastic film and the forced air precooling with 3 different air speeds. The control sample was that product stored using room cooling.

The product was evaluated considering the cooling time in the 3 air speeds studied, the weight loss during the forced air precooling process and during storage and general sensorial parameters.

The highest velocity ( $1.24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) yielded a precooling time of 1 hour and 25 minutes and the smallest velocity ( $0.83 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) resulted in a precooling time of 1 hour and 29 minutes. The control sample took 28 hours and 23 minutes to reach the  $7/8$  cooling time temperature.

The precooled lettuce had 23 days of shelf life while the lettuce cooled with room cooling was kept in acceptable commercial conditions for 16 days.

It was concluded that forced air precooling is an alternative for lettuce postharvest conservation and the combination of plastic box and plastic film can reduce product loss, maintaining its quality, increasing shelf life, improving profit and resulting in the consumer satisfaction.

## **1 INTRODUÇÃO**

O Brasil é um grande produtores mas não podemos considerá-lo um grande exportador de produtos hortifrutícolas, devido à falta de qualidade dos produtos, ao incentivo para melhoria das tecnologias de pós-colheita e às perdas as quais representam, em média, 20% - 50% da produção total em países em desenvolvimento contra 5% a 25% em países desenvolvidos (FAO, 1991 *apud* NEVES F<sup>o</sup> et al., 1997). Segundo dados da EMBRAPA (1993), na safra de 1992, no Estado de São Paulo a produção total dos produtos hortifrutícolas foi de aproximadamente 11,2 milhões de toneladas, das quais, aproximadamente 3,6 milhões foram perdidas, o que representou 35% de perdas. A produção brasileira de hortifrutícolas é de aproximadamente 55 milhões de toneladas (NOGUEIRA, 2000). GORENSTEIN (2000) estima que 40% desta produção deixa de ser consumida no

Brasil e que 64% destas perdas ocorrem na fase pós-colheita, dentro da propriedade agrícola.

Hoje, pode-se considerar como um grande problema da agricultura nacional, as perdas de produtos alimentícios desde a produção até a comercialização, em nada adianta a utilização da moderna tecnologia agrícola visando aumento da produção de alimentos se estes não forem convenientemente aproveitados, se a qualidade do produto não for satisfatória, se não houver redução das perdas, pois para conseguir este aumento, o custo de produção aumentará, reduzindo o lucro do produtor.

A temperatura dos produtos hortícolas é o fator mais importante a ser controlado na fase pós-colheita. O tempo de espera para a refrigeração desses produtos influi diretamente na vida de prateleira, pois influi na qualidade e favorece as perdas (SHEWFELT, 1986).

Na alface, o início da deterioração começa exatamente após a colheita, portanto quanto mais rápida sua temperatura for reduzida, mais tempo ela se conservará em condições de comercialização. Sendo ainda a alface um produto altamente perecível, ela deve ser resfriada muito rapidamente.

As perdas de alimentos *in natura* influenciam significativamente o mercado interno, formando um círculo vicioso. O consumidor paga mais pelo produto porque as perdas diminuem a oferta e o produtor recebe menos porque necessita comercializar rapidamente sua produção, pois não possui técnicas apropriadas para o prolongamento da vida de prateleira do seu produto, como a refrigeração.

Na cadeia de produção e comercialização de hortifrutícolas, as mudanças sempre foram insuficientes. Hortaliças e frutas sempre foram vendidas a granel,

aconditionadas em caixas de madeira, sofrendo todo o tipo de manipulação até chegar às mãos dos consumidores (VIDEIRA, 1997).

No caso de frutas e hortaliças destinadas ao consumo *in natura*, tem-se ainda o agravante de que suas qualidades não podem ser melhoradas, mas somente preservadas e a até um certo limite. Sendo assim, a proteção dos produtos hortifrutícolas deve começar no campo, especialmente no momento da colheita, utilizando-se métodos adequados, que evitem danos ao produto e minimizem a contaminação por microrganismos. O transporte, até o “packing-house”, deve ser ágil e cuidadoso, para reduzir os danos físicos ao produto, que ainda não está adequadamente embalado, e se estender até que sejam consumidos (CHITARRA e CHITARRA, 1990; GORENSTEIN, 2000).

No Brasil, as faltas de embalagens e transporte adequados, de utilização da refrigeração para a armazenagem logo após a colheita e de manuseio adequado e a contaminação por microrganismos, fazem com que o aumento na produtividade, com novas técnicas, não seja significativo.

Um aspecto positivo é a integração das agroindústrias na cadeia produtiva da olericultura visando a contratação direta da produção junto aos horticultores, diminuindo os riscos e incertezas do mercado e induzindo ao planejamento da produção, à redução de perdas, à padronização da qualidade e ao desenvolvimento tecnológico.

Para os consumidores, além aumento na praticidade do produto oferecido há maior garantia de regularidade no abastecimento durante todo o ano, com conseqüente regularização dos preços, independentemente do efeito sazonal.

A necessidade de modernização, racionalidade logística e eficiência estão presentes em toda a cadeia produtiva. Os supermercados se transformaram nos principais clientes potenciais do setor hortícola, por serem a estrutura preferida pelo consumidor moderno, para suas compras. Suas lojas estão sendo estruturadas para descarga rápida, uso de embalagens paletizadas, trabalhando com áreas de depósito pequenas e portanto investem em automação e em gondôlas refrigeradas para a exposição do produto. Nesse contexto, os produtores precisam se preocupar com a padronização de seu produto, aplicação da refrigeração para prolongar o tempo de comercialização e utilização de embalagens adequadas, que além da proteção permitem diminuir o manuseio (NOGUEIRA, 2000).

Devido a importância das frutas e hortaliças na alimentação, a realização de projetos de pesquisas relacionados com a aplicação do frio para a conservação pós-colheita desses produtos, torna-se evidente e necessária.

## **2 OBJETIVO**

Este trabalho trata da utilização do resfriamento rápido com ar forçado em alface “crespa” como uma tecnologia de pós-colheita, visando a manutenção da qualidade e aumentar a vida de prateleira da alface, e conseqüentemente reduzindo as perdas.

Para tal, foi verificado se as embalagens plásticas permitiam a realização do resfriamento rápido com ar forçado (número de aberturas ou área de abertura da embalagem), verificando em três diferentes velocidades de ar qual permitiria um tempo de resfriamento curto sem causar deterioração no produto e se a utilização de filmes plásticos como proteção do produto interfere na realização do processo de resfriamento rápido com ar forçado.

Estes parâmetros foram avaliados quanto a influência no processo de resfriamento rápido com ar forçado e na qualidade do produto resfriado.

### **3 REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 Alface**

##### 3.1.1 Aspectos da Cultura

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma planta herbácea, muito delicada, com um caule diminuto, não ramificado, ao qual se prendem as folhas. Estas são muito grandes, lisas ou crespas, fechando-se ou não na forma de uma “cabeça”. Sua coloração varia do verde-amarelado até o verde-escuro, sendo que algumas cultivares apresentam as margens arroxeadas. As raízes são do tipo pivotante, podendo atingir até 60 cm de profundidade, porém apresentam ramificações delicadas, finas e curtas, explorando apenas os primeiros 25 cm de solo. Para efeitos práticos, a alface é considerada uma cultura de raízes densas e um tanto superficiais. Trata-se de uma planta anual sendo que a fase vegetativa de seu ciclo se encerra quando a planta atinge o maior desenvolvimento de suas folhas. Então, a

planta emite uma haste floral, que alcança 100 cm de altura, terminando por uma inflorescência com numerosas flores hermafroditas (FILGUEIRA, 1982).

Segundo FILGUEIRA (1982) existem numerosas cultivares de alface no mundo ocidental e podem ser didaticamente agrupadas, considerando-se o aspecto das folhas e o fato das mesmas reunirem-se ou não para formarem uma cabeça repolhuda, em cinco grupos perfeitamente distintos:

- ☞ Repolhuda Manteiga: apresentam folhas lisas, muito delicadas, “amanteigadas”, formando um típica cabeça repolhuda, bem compacta.
- ☞ Repolhuda Crespa: as folhas são crespas, consistentes, formando uma cabeça compacta.
- ☞ Solta Lisa: possui folhas lisas e soltas, mais ou menos delicadas, não formando uma cabeça compacta.
- ☞ Solta Crespa: suas folhas são crespas, consistentes, soltas e não formam cabeça.
- ☞ Romana: as folhas tipicamente alongadas, duras, com nervuras claras e protuberantes, formam uma cabeça fofa e alongada.

A maioria das cultivares desta folhosa apresentam constituição física frágil e são sensíveis a ferimentos e a desidratação.

### 3.1.2 Colheita

A alface deve ser colhida com um desenvolvimento vegetativo mínimo, enquanto ainda não se percebe o sabor amargo que se forma após o início do pendoamento (CALBO, 1999).

Para a colheita da alface, as mesmas são cortadas à altura do coleto, com um instrumento afiado (faca), sendo as folhas exteriores eliminadas, porém nem todas, que servirão de proteção à cabeça. O uso da faca pode reduzir a necessidade de uma limpeza secundária nas centrais de embalagem. Deve-se também observar que o uso de facas pode trazer desvantagens, como a transmissão de doenças de planta para planta. Deve-se portanto observar as condições higiênicas do material utilizado na colheita (FILGUEIRA, 1982).

A qualidade das hortaliças depende, entre outros fatores, das técnicas de colheita. O manuseio inadequado pode resultar em danos mecânicos ao produto, que servirão de vias de penetração aos microrganismos que deterioram o produto ou que depreciam seu estado externo, acarretando perdas na comercialização. Além disso, nos casos das hortaliças que apresentam danos mecânicos, a taxa respiratória pode ser elevada, reduzindo o período viável de armazenagem do produto (CASTRO, 1982).

### 3.1.3 Importância Econômica

Segundo a SAAESP<sup>1</sup>, citado por UNESP RURAL (1999), a área de produção de alface em São Paulo é de 7.859 hectares, sendo os principais municípios produtores Piedade, Mogi das Cruzes e Suzano.

A alface do tipo crespa, folhas crespas com bordos recortados e irregulares, que não formam cabeça e as do subgrupo verde quando a coloração das suas folhas são verdes, são as mais comercializadas na CEAGESP (Figura 1).

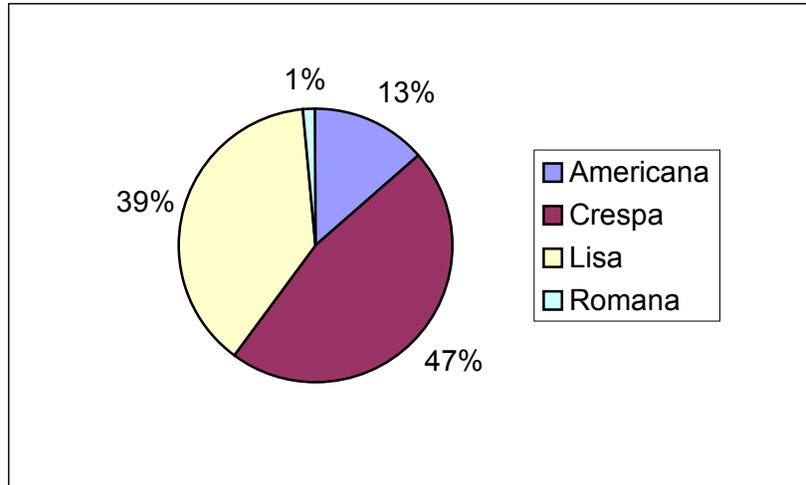


Figura 1 – Porcentual por tipos de alface comercializada de 1993 a 1997 na CEAGESP. Fonte: CEAGESP<sup>2</sup> (1998).

Segundo o AGRIANUAL<sup>3</sup> (2000), a quantidade de alface do tipo crespa comercializada na CEAGESP de São Paulo, no ano de 1999, foi de 5.872 toneladas e seu preço médio foi de 0,31 US\$.kg<sup>-1</sup> de produto.

### 3.2 Perdas Agrícolas

Para um produtor de alface da região de Campinas - SP, que produz 7,2 mil pés por dia, em área totalmente irrigada, as perdas atingiram, em 1997, de 30% ou 40% devido a dificuldades na colheita, no armazenamento e no transporte (CHRISTOFOLETTI, 1997).

---

<sup>1</sup> Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo.

<sup>2</sup> Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo.

<sup>3</sup> Anuário da Agricultura Brasileira

Os danos sucessivos e cumulativos que os produtos sofrem durante todos os seus períodos de manuseio, armazenamento e transporte, estão relacionados às perdas acentuadas de qualidade e deterioração (CHITARRA e CHITARRA, 1990).

A tabela abaixo indica uma estimativa percentual de perdas, em relação ao volume, na comercialização de produtos hortifrutícolas para a cidade de São Paulo em 73/74 e 91/92 (GONÇALVES e PEREZ, 1996 *apud* NEVES FILHO e CORTEZ, 1997). Embora o nível de perdas tenha diminuído neste período, ele ainda se situa em porcentagens elevadas visto que os dados referem-se apenas às perdas na comercialização no varejo.

Tabela 1 - Perdas, na cidade de São Paulo, na comercialização final de produtos hortícolas nos anos 1973/74 e 1991/92.

	73/74			91/92		
	Supermercado	Quitanda	Feira - livre	Supermercado	Quitanda	Feira - livre
<b>Legumes</b>	19,0	14,0	9,0	9,1	12,7	9,4
<b>Verduras</b>	21,0	15,0	9,0	8,6	13,2	10,1
<b>Frutas</b>	25,0	19,0	18,0	10,2	16,5	8,9

Fonte: GONÇALVES e PEREZ, 1996 *apud* NEVES FILHO e CORTEZ, 1997.

Para alface, WERNER (1980) relata um levantamento efetuado na Grande Florianópolis, em nível de mercado atacadista e varejista, onde verificou uma perda de 21,3%.

GORENSTEIN (2000) afirma que os problemas começam com a embalagem em caixas de madeira, passando por transporte inadequado, muitas vezes feito em caçambas abertas, e aumentam com o total desprezo pela refrigeração.

FOURNIER e VANDIEVOET (1983) relatam que para alfaces colhidas a 20°C, no Canadá, e resfriadas imediatamente a 2°C pudera ser comercializadas por 8 dias, após uma espera de 6 horas, o tempo de comercialização reduziu-se para 6 dias, após 12 horas de espera, para 4 dias e após 18 horas sem a refrigeração, a alface teve que ser comercializada em 2 dias.

### **3.3 Refrigeração de Produtos Agrícolas**

A alface é altamente perecível e deteriora-se rapidamente a temperaturas ambiente. A taxa de respiração aumenta muito e a vida de prateleira decresce, correspondentemente com o aumento da temperatura de armazenagem (GULL, s.d.).

HARDENBURG et al. (1986) relatam que a alface respira 3 vezes mais rápido a 10°C do que a 0°C e de 2 a 3 vezes mais rápido a 20°C do que a 10°C. Quanto mais rápido o produto respira, maior será a quantidade de calor gerado, pois durante o processo de respiração, é liberada energia na forma de calor e esta aumenta com o aumento da temperatura, e que o retardamento deste processo se torna de extrema importância e pode ser obtido através da refrigeração. Este calor, chamado de calor vital, faz parte da carga de refrigeração e deve ser considerado no manuseio de frutas, hortaliças e flores de corte destinadas à armazenagem frigorificada.

Portanto, a espera após a colheita, no pomar ou no galpão, antes da estocagem a frio irá reduzir o tempo de estocagem de hortaliças mesmo que elas sejam posteriormente estocadas à baixa temperatura.

A estocagem frigorificada além de diminuir o processo da respiração, reduz a ação das enzimas, diminui a perda de água, diminui a ação dos microrganismos que provocam a deterioração e aumenta a vida útil de comercialização (GAST e FLORES, 1991).

A vida de prateleira dos produtos é inversamente proporcional a taxa de respiração. Para a alface, a qual é um produto que apresenta uma taxa respiratória alta ( $19 - 27 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$  a  $0^{\circ}\text{C}$ , SCHOLZ et al. *apud* HARDENBURG et al., 1986), sua vida de prateleira é curta (HARDENBURG et al., 1986).

Para minimizar a deterioração da alface é necessário rigoroso controle da temperatura. Oferecendo-se boas condições de estocagem ao produto, como temperatura entre  $0^{\circ}\text{C}$  e  $3^{\circ}\text{C}$  e alta umidade relativa (95-100%), alfaces podem ser conservadas até por 2 a 3 semanas (ASHRAE, 1994). GULL (s.d.) concorda com este fato, mas ressalta que depende também da maturidade, qualidade e condições de manuseio das alfaces na colheita e afirma que quando estocadas a  $2,8^{\circ}\text{C}$ , sua vida de prateleira é reduzida, aproximadamente, pela metade.

Uma temperatura mais alta que a necessária, estabelecida para cada caso, representa maior taxa de respiração, conseqüentemente maior transpiração, maior perda de peso, possíveis problemas patológicos e acelera a senescência.

Segundo WANG (1990), temperaturas inferiores aos níveis recomendados causam problemas de congelamento, o que provoca injúrias ao produto.

Segundo GAN et al. (1997) a senescência das folhas está relacionada com fatores próprios da planta e fatores ambientais. Sugerindo os fatores ambientais, os autores incluem o estresse, com a utilização de temperatura extremas, períodos de

seca, deficiência de nutrientes, ataques de patógenos e injúrias mecânicas, enquanto que os fatores da própria planta incluem a idade, o estágio de desenvolvimento reprodutivo e os níveis de fitormônios.

### **3.4 Resfriamento Rápido de Produtos Agrícolas**

A rápida redução da temperatura do produto colhido, até próximo à temperatura de estocagem, é conhecida como resfriamento ou remoção do calor de campo, e os produtos são usualmente pré-resfriados a até  $7/8$  ou 88% da diferença entre a temperatura inicial do produto e a temperatura da câmara frigorífica (GAST e FLORES, 1991).

Para que a conservação seja bem sucedida, preservando a qualidade e prolongando a vida de prateleira de produtos hortícolas, é essencial fazer um resfriamento rápido até a temperatura próxima da armazenagem (BLEINROTH et al. 1985 e GAST e FLORES, 1991 ).

GAST e FLORES (1991) explicam que as atividades metabólicas dos produtos produzem calor e o objetivo das condições ótimas de estocagem é limitar a produção, a estocagem e a absorção de calor pelos produtos. A diferença entre a temperatura do produto recentemente colhido e a temperatura ótima de estocagem é o indicador de calor de campo, e a quantidade de calor produzido pelo produto é governada pela temperatura onde este produto está exposto.

O resfriamento rápido ( também chamado de pré-resfriamento) dos produtos refere-se à rápida remoção do “calor de campo” dos produtos agrícolas perecíveis após a colheita, antes de que eles sejam transportados a longas distâncias ou armazenados. O resfriamento rápido é uma operação distinta da estocagem

frigorífica, que requer instalações e equipamentos especiais (BLEINROTH et al., 1992). O resfriamento rápido por ar forçado possibilita que o ar refrigerado passe pelo interior das embalagens devido a uma diferença de pressão criada pela alta capacidade dos ventiladores e, pela ação convectiva, fazendo com que os produtos sejam resfriados mais rapidamente (FRASER, 1991).

### **3.5 Tipos de Resfriamento**

O resfriamento rápido é realizado comercialmente por vários métodos, todos envolvendo a rápida transferência de calor do produto para um meio refrigerante, tal como ar, água ou gelo. O tempo requerido para um resfriamento rápido adequado pode variar de 30 segundos ou menos, a 24 horas ou mais (SHAW et al., 1987).

O resfriamento rápido em câmaras, com ar forçado, água ou a vácuo devem ser realizados antes que o produto seja transportado para os canais de comercialização. Entretanto, durante o período de transporte, pode-se utilizar o resfriamento rápido em “embalagem com gelo” ou “com cobertura de gelo” (SIGRIST, 1983).

No caso da alface, os tipos mais utilizados são, o resfriamento em câmara frigorificada, o resfriamento a vácuo e o resfriamento com ar forçado.

#### **3.5.1 Resfriamento em Câmara Frigorificada**

Também conhecido como “room cooling”, o ar refrigerado é simplesmente circulado ao redor da sala, tomando o caminho de menor resistência, não havendo incentivo para o ar entrar na embalagem e resfriar o produto quente. Por isso, a

maioria dos produtos resfriados por condução demoram mais tempo para atingir a temperatura ótima de armazenagem, sendo um processo muito lento (FRASER, 1991).

### 3.5.2 Resfriamento Rápido a Vácuo

Baseia-se no princípio de que em pressões reduzidas a água entra em ebulição à temperatura mais baixa. Assim, quando se reduz a pressão de 760 mmHg para 4 a 5 mmHg, o ponto de ebulição da água passa de 100°C para cerca de 0°C. A evaporação da água requer energia, a qual é retirada do produto, fazendo com que ele se resfrie, podendo atingir temperaturas próximas de 0°C. A mudança de fase da água, do estado líquido para vapor, requer energia de 514 kcal (2150,6 kJ) por quilograma de água evaporada (BENNETT, 1971).

As vantagens deste método estão relacionadas à velocidade e à uniformidade do resfriamento rápido. O resfriador a vácuo consiste de uma câmara de aço ou autoclave, hermeticamente fechada, onde se pode fazer vácuo.

BELZILE (1996) trabalhou com o resfriamento rápido a vácuo para alface. Nos Estados Unidos praticamente toda alface resfriada é resfriada à vácuo, além do salsão e outras folhosas.

SHAW et al. (1987) relatam que para reduzir o gradiente de temperatura e prevenir a perda de peso durante o processo de resfriamento rápido à vácuo, assim como para aumentar a velocidade de resfriamento, produtos pré-molhados pode ser um método muito eficiente. A desvantagem é o elevado investimento para a implantação do sistema, o que pode se tornar um impedimento.

AFONSO (2000), quando estudou a utilização da técnica de resfriamento a vácuo em alfaces crespas, verificou que as menores temperaturas atingidas foram 4,7 e 5,0°C, com perda de massa de 4,5% e 1,7%, nas não pré-umidificadas e nas pré-umidificadas, respectivamente, com 40 minutos de processo.

### 3.5.3 Resfriamento Rápido com Ar Forçado

A alface pode ser rapidamente resfriada pela produção de um diferencial na pressão do ar nas faces opostas das pilhas de produtos. Este diferencial de pressão força o ar através das embalagens e carrega consigo o calor do produto. Neste caso, as próprias frutas e/ou hortaliças recebem diretamente o fluxo de ar frio e a velocidade do resfriamento pode ser regulada em função do volume de ar (Figura 2 e Figura 3 ).

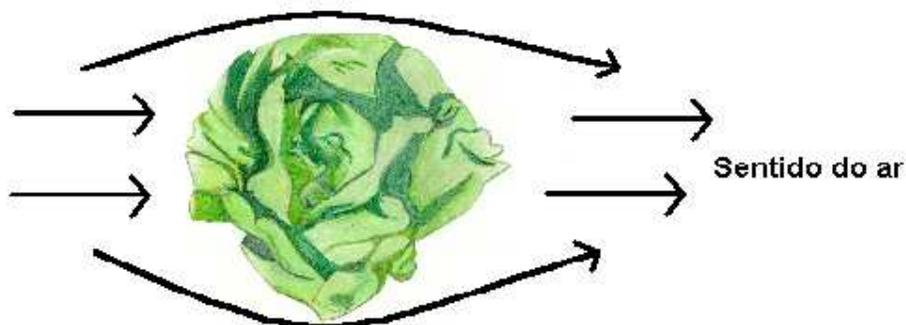


Figura 2 – Representação da passagem do ar pelo produto.

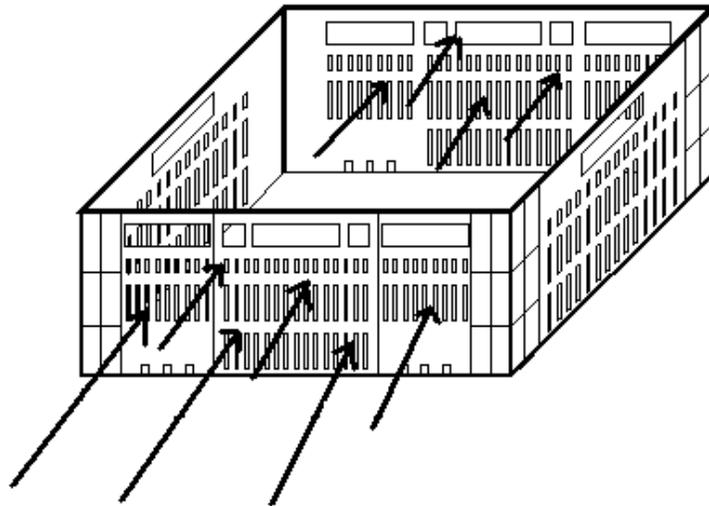


Figura 3 – Representação da passagem do ar pela caixa plástica.

O resfriamento rápido com ar forçado geralmente resfria o produto dentro de  $\frac{1}{4}$  a  $\frac{1}{10}$  do tempo necessário para o resfriamento rápido em câmaras, mas é duas a três vezes mais lento que o resfriamento rápido com água ou a vácuo. A instalação deve ser projetada e operada para reduzir substancialmente ou eliminar de vez o fluxo de ar através do produto, tão logo este tenha resfriado. O fluxo contínuo de ar pode causar séria perda de peso pelos produtos, a menos que o ambiente esteja saturado de umidade. Este método é efetivo para oleráceas altamente perecíveis, bem como para as tuberosas ( cenoura, batata-salsa, beterraba, batata-doce, rabanete) que, após o resfriamento rápido, se destinarão ao armazenamento a granel (SIGRIST, 1983).

Segundo FRASER (1991) esse tipo de sistema tem sido usado extensivamente na Califórnia a muitos anos. Lá, os produtores tiveram benefícios

com a remoção rápida do calor de campo e o aumento da vida de prateleira dos produtos exportados.

MACKINNON et al. (1991) quando trabalharam com o resfriamento rápido com ar forçado em espinafre, constataram um aumento na vida de prateleira e a manutenção da qualidade do produto, enquanto que o tratamento controle, no qual não foi utilizado este sistema de resfriamento, o produto apresentou excessiva deterioração dos tecidos.

Experimentos com resfriamento rápido com ar forçado determinaram que, dentro de uma mesma faixa estudada, esse tipo de resfriamento rápido é mais barato, que o resfriamento rápido em água fria e a vácuo, mais rápido que a sala de refrigeração convencional, mas ainda demanda duas a três vezes mais tempo que o resfriamento à água ou a vácuo (VIGNEAULT e GOYETTE, 1994) e é adaptável para muitos produtos diferentes.

MACKINNON (1994) determinou que o tempo de resfriamento foi significativamente afetado com o aumento das taxas de fluxo de ar, verificando um efeito mais dramático para alface, onde o tempo para resfriamento variou de 1530 minutos com convecção natural a 27 minutos com convecção forçada.

A maior vantagem deste método é que uma câmara frigorífica pode ser adaptada, aumentando o fluxo de ar através do produto, o que requer menor capital de investimento do que outros métodos (SARGENT, 1998).

BAIRD et al.(1988) informam que para a obtenção de um resfriamento rápido com ar forçado eficiente alguns fatores devem ser levados em consideração, sendo eles: o tamanho do produto, sua forma e suas propriedades térmicas, o arranjo dos mesmos durante o resfriamento, as temperaturas inicial e final do produto, a

temperatura da câmara, a taxa de fluxo do ar frio. Respeitando estas variáveis, obter-se-á um resfriamento eficiente e com custos mais baixos.

Uma das desvantagens deste tipo de resfriamento é o processo de perda de peso do produto.

### **3.6 Perda de Peso dos Produtos Agrícolas**

A rápida circulação do ar não interfere na perda de peso se a umidade relativa for alta. Entretanto, se a umidade for baixa, mesmo os produtos na câmara sem circulação ou com baixa circulação apresentam murchos. Isto acontece devido ao aumento da transpiração dos produtos pela baixa umidade relativa do ar da câmara (HARDENBURG, 1986).

O processo de resfriamento rápido com ar forçado provoca uma convecção forçada na transferência de calor e também na transferência de massa. Esta transferência de massa é chamada de perda de água dos produtos para o meio ambiente aonde o produto está exposto. Quando se força, o ar para a realização do resfriamento ou da transferência de calor, provoca-se também, simultaneamente, a transferência de massa do produto, implicando numa perda de peso do produto submetido ao resfriamento rápido (ASHRAE, 1997).

SARGENT (1998) diz que com a utilização do resfriamento rápido, cuidados devem ser tomados para minimizar a perda d'água dos produtos. O sistema de refrigeração com ar forçado, desumidifica o ar da câmara fria condensando este vapor d'água do ar no evaporador. Esta condensação faz com que a umidade relativa da câmara abaixe, criando um "déficit" de pressão de vapor entre o produto e o ar ambiente da câmara.

A água é o componente mais abundante nas hortifrutícolas. A casca das frutas e hortaliças é permeável ao vapor d'água e esta permeabilidade é bastante variável para os diferentes produtos. Os produtos transpiram continuamente durante o manuseio e a estocagem, quando a pressão do vapor d'água do ar ambiente for menor que a pressão do vapor d'água no tecido logo a baixo da casca do produto (GAFFNEY et al., 1985).

Para minimizar a perda de água durante o resfriamento e a estocagem a frio, a umidade relativa do ar da câmara deve ser mantida no nível recomendado para o produto em particular (SARGENT, 1998), abaixando-lhe a temperatura, reduzindo a velocidade do ar e através do uso de proteção com embalagens (HARDENBURG, 1986).

Segundo SHOWALTER (s.d.) a temperatura do produto e do ar do ambiente de estocagem devem ser controladas, para se minimizar a perda d'água e aponta que os fatores que provocam esta perda, além da temperatura, são a pressão de vapor e a umidade relativa.

HARDENBURG (1986) afirma que o grau de perda d'água para os produtos difere com o tipo de tecido protetor e com a área da superfície exposta por unidade de volume. Hortaliças de folhas, como a alface, tendem a perder água mais rapidamente do que melão, maçã e abóbora, que possuem uma menor relação entre a superfície exposta e o volume.

EDEOGU et al. (1997) verificaram que para a alface, a perda de peso durante o resfriamento rápido com ar forçado é maior do que com resfriamento em câmara refrigerada.

Freqüentemente a perda de peso do produto, em função da perda de água, tem sido um fator importante na hora de quantificar a perda de produtos perecíveis. A perda de peso está relacionada com perda de qualidade, que está associada a temperatura e a umidade relativa das câmaras frigoríficas, assim como ao nível de proteção das embalagens, à transpiração e à velocidade do ar.

GAFFNEY et al. (1985) confirmam que a taxa de perda d'água é um dos fatores que mais afetam a qualidade do produto e quando excessiva interfere na aparência e na textura dos mesmos.

Segundo BEEK (1985), a perda de peso de um produto durante a estocagem, está relacionada com a quantidade de água condensada nos evaporadores, mas não são valores correspondentes.

No resfriamento a vácuo de oleráceas folhosas, a quantidade de água evaporada aceitável está representada entre 1% a 4% do seu peso. Segundo HASS e GUR (1987) tais quantidades vão depender da temperatura final e inicial do produto, sendo que a cada 5,5°C a 6°C de resfriamento a perda de peso para oleráceas folhosas é de aproximadamente 1%. Para BARLETT (1980) a cada 10°C de resfriamento, 1,8% do peso do produto é perdido.

MACKINNON (1994), quando trabalhou com transferência de massa e calor de brócolos, alface, cogumelos e milho-doce frescos, durante a refrigeração com ar forçado observou que a mais alta perda de massa (3 a 4%) ocorreu durante o resfriamento por convecção natural enquanto que, taxas de fluxo de ar entre 0,5 a 3 l.s<sup>-1</sup>.kg<sup>-1</sup> de produto, reduziram a perda de massa para menos de 2%.

Além da perda de peso, a qualidade de produtos hortícolas está relacionada com o fator aparência, que exige folhas perfeitas, ausência de doenças, coloração adequada e ausência de injúrias mecânicas.

A alface exige certos cuidados para uma boa qualidade. As folhas, parte comestível, deve estar isenta de qualquer fator que as impeçam de serem consumidas, boa coloração, folhas bem formadas, ausência de injúrias mecânicas e principalmente túrgidas, o que faz com que esse produto seja um atrativo ao consumidor.

Uma das formas de controle desta perda de peso é a utilização de filmes plásticos os quais favorecem a manutenção da turgidez das folhas.

### **3.7 Filmes Plásticos**

AHARONI et al. (1973) dizem que o uso de filmes lineares ou de polietileno individual para envolver alfaces são muito desejáveis, pois permitem a manutenção de alta umidade relativa na micro-atmosfera formada entre o filme de embalagem e o produto. Estes filmes devem ser perfurados ou permeáveis para que não haja uma alta concentração de CO<sub>2</sub> nesta atmosfera, evitando a ocorrência de injúrias fisiológicas, pois a alface apresenta-se tolerante a um nível de CO<sub>2</sub> levemente alto.

Devido a isto e a utilização do resfriamento rápido com ar forçado, o uso de filmes plásticos para a proteção do produto se faz necessário, principalmente em relação à perda de peso provocada pela constante passagem do ar frio pelo produto.

Segundo a ASHRAE (1997), para a estocagem da alface a umidade relativa deve ficar entre 95-100%. Mesmo com essa umidade é necessário o uso de filmes plásticos para o resfriamento rápido.

Assim, o uso de filme plástico para a proteção do produto, durante o processo de resfriamento rápido com ar forçado, é uma alternativa favorável pois este servirá de proteção às folhas de alface, controlando, até certo ponto, a perda de peso.

Em relação ao processo de resfriamento rápido com ar forçado, a utilização dos filmes plásticos é um obstáculo, pois ele impede o contato direto do ar frio com o produto, servindo como uma barreira e consequentemente aumentando a tempo de resfriamento dos produtos. Nos filmes plásticos com micro-perfurações, o ar encontra uma pequena passagem, mas mesmo assim o tempo de resfriamento é maior quando comparado com produtos resfriados sem a utilização destas embalagens protetoras.

Além da proteção com filmes plásticos, as alfaces necessitam de uma embalagem (caixa) para o seu acondicionamento durante todo o processo de resfriamento rápido, estocagem frigorificada, transporte e comercialização.

### **3.8 Caixas Plásticas**

FORNAGUERA (1995) diz que a utilização de embalagens adequadas, o desenvolvimento de módulos pós-colheita desde o produtor até o consumidor, e a montagem de infra-estrutura para manejo técnico dos produtos, permitirão aproveitar melhor os recursos, refletindo na redução de custos e no aumento da capacidade de manejar maiores volumes de produtos com excelente qualidade. Existe a necessidade da implementação de um sistema de normalização para estabelecer os parâmetros de qualidade a que permitirá a formação de um mercado mais especializado.

Uma embalagem adequada é aquela capaz de oferecer proteção suficiente ao produto, preservando-lhe as características de qualidade até o consumo final. No

acondicionamento dos produtos hortícolas, a embalagem deve ser utilizada com a intenção de absorver impactos, vibrações e resistir a agentes externos capazes de promover a perda da qualidade do seu conteúdo. Estas considerações básicas deverão ser convenientemente observadas para que sejam resguardadas as características de integridade e valor nutritivo das frutas e hortaliças comercializados *in natura* (GUEDES & MADI, 1983).

Do ponto de vista técnico, para a especificação de uma embalagem adequada é imprescindível o conhecimento das características intrínsecas do produto, pois são elas que deverão ser preservadas, e cujas alterações durante a estocagem e distribuição resultarão em perda de qualidade.

A escolha do tipo de material a ser utilizado para a embalagem de produtos hortícolas deve ser feita com base nas necessidades do produto, método de embalagem, resistência, custo e disponibilidade. Além destes fatores, quando houver resfriamento rápido a embalagem deverá levar em conta este tratamento (BORDIN, 1998).

As embalagens convencionais empregadas no acondicionamento de produtos hortícolas são as caixas de madeira, especialmente as do tipo K, do tipo M e os engradados (Tabela 2 e Figura 4).

Tabela 2 - Tipos de embalagens convencionais utilizadas por diferentes produtos hortícolas.

Embalagens convencionais	Produtos hortícolas	Representação
Caixa tipo K	Tomate, mandioquinha, mandioca, cenoura, vagem, etc.	Figura 4. A
Caixa tipo M	Abacate, berinjela, citros, pepino, quiabo, batata-doce, etc.	Figura 4. B
Engradados	Alface, couve-flor, acelga, brócolos, chicória, etc.	Figura 4. C



A



B



C

Figura 4 - Tipos de caixas utilizadas na comercialização de produtos hortícolas.

As verduras, cuja susceptibilidade à lesão por danos mecânicos é muito elevada, são geralmente comercializadas em engradados, dependendo da variedade considerada, ou também em “maços”, constitui de apenas um “amarrado” das partes comestíveis de vegetal em pequenos feixes individuais, sem qualquer proteção adicional.

Segundo a ASHRAE (1998), a maioria das alfaces comercializadas nos Estados Unidos, são embaladas em caixas de papelão e submetidas a resfriamento rápido, a vácuo, até 1 - 2°C. No entanto, o resfriamento a vácuo representa um elevado custo de instalação o que se torna um empecilho para a adoção dessa tecnologia no Brasil (CORTEZ et al., 1997). Para a utilização do resfriamento rápido com ar forçado, a embalagem em caixas de papelão é considerado um problema pois impede a circulação do ar pelo produto e a umidade do produto acaba por deteriorar a embalagem.

As caixas plásticas para o acondicionamento de produtos hortícolas são uma opção bastante interessante quando se trata de um sistema com retorno, já que o alto custo destas embalagens pode não viabilizar sua utilização sem retorno. Estas caixas são feitas com ferramental (moldes) específicos, de custo muito alto, o que acaba encarecendo as embalagens (BORDIN, 1998).

Quando verifica-se o custo-benefício dessas caixas, observa-se que, com a possibilidade de uso prolongado e que o custo será diluído, as caixas plásticas não apresentam custo elevado. Com o retorno destas caixas, a necessidade de locais para descartes não se torna uma preocupação constante para os atacadistas e varejistas como acontece com as caixas de papelão, preservando o meio ambiente,

eliminando o problema da poluição provocada pelo descarte de outros tipos de embalagens. Além disso, estas caixas são totalmente recicláveis, ajudando no destino destas quando não apresentarem mais condições de uso.

Outras vantagens das caixas plásticas são que elas são altamente resistentes a umidade do produto e do meio de resfriamento, é possível o emprego de aberturas para a ventilação devido a resistência do material utilizado para a confecção das caixas, permitindo desenhos mais arrojados, e estas aberturas quando bem localizadas e dimensionadas não afetam a estrutura física das caixas plásticas, enquanto que as caixas de papelão não apresentam as mesmas vantagens. Com esta resistência à umidade, torna-se possível a sanitização das caixas plásticas entre os lotes de produto, evitando a contaminação o que não se observa na utilização das caixas de madeira.

### 3.8.1 Abertura nas Caixas para a Ventilação

Um dos critérios mais importantes para se obter um resfriamento rápido é a utilização de aberturas para a ventilação, adequadamente dimensionadas e localizadas. Se uma área de abertura, superior a 10%, for fornecida à caixa de papelão, de forma a se obter uma boa circulação do ar através dos interstícios do produto, as taxas de resfriamento se aproximariam daquelas quando o produto está à granel (BAIRD et al., 1988).

No resfriamento rápido com ar forçado, o contato do meio de resfriamento com o produto deve ser o mais efetivo possível, sendo recomendada a utilização de embalagens que apresentem de 5% a 10% de área de abertura através da face de entrada do ar (FRASER, 1991).

Quanto maior a área disponível para a entrada de ar de resfriamento na embalagem, menor a energia necessária para operar o ventilador e o sistema frigorífico. BAIRD et al. (1988) correlacionaram a percentagem de abertura de caixas de papelão com o custo de resfriamento, concluindo que abaixo de 3% de abertura, o custo de resfriamento aumenta significativamente.

HASS et al. (1976) dizem que a perda de pressão em um fluxo de ar através das aberturas para a ventilação está diretamente relacionada com a porcentagem de aberturas, sendo pouco influenciada pelo tamanho, forma ou localização das aberturas.

Devido a perecibilidade da alface, é necessária a realização da rápida retirada do “calor de campo”, com utilização do resfriamento rápido, onde o ar forçado, pelo seu baixo custo inicial, torna-se mais utilizável. A utilização de caixas de papelão, apesar do seu baixo custo, não é utilizada para resfriamento com ar forçado por não facilitar a circulação do ar entre o produto. Sendo assim, a utilização de caixas plásticas se torna uma alternativa aceitável, por facilitar a ventilação e possibilitar sua sanitização.

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

Este capítulo apresenta a metodologia utilizada no desenvolvimento do plano experimental. Considerando os objetivos propostos apresenta-se abaixo as seguintes seções em duas partes: numa primeira parte são apresentados os materiais envolvidos no experimento tais como a matéria prima, sistemas de embalagens, transporte, caracterização do lote e sistema de resfriamento rápido; e na segunda o método experimental, propriamente dito com os experimentos realizados e o delineamento experimental.

### **4.1 *Matéria Prima***

A alface “crespa” cv. Verônica (Figura 5) foi colhida com 30 a 35 dias após o transplântio das mudas, no Sítio São José que está localizado no município de

Campinas – SP, Via Anhanguera, km 103. Após a colheita, as alfaces foram lavadas e acondicionadas em sacos plásticos e em caixas plásticas ainda na propriedades.

No momento do recebimento do produto a temperatura ambiente era de  $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , medida com um termômetro simples.



Figura 5 – Alface crespa, cv. Verônica.

As alfaces foram colhidas em 4 dias consecutivos, sendo que em cada dia eram trazidas para o laboratório 12 caixas contendo 12 pés cada, 2 caixas para cada tratamento (6 tratamentos). Chegando na FEAGRI - UNICAMP, das caixas foram pesadas 4 pés os quais foram definidos como grupo controle de peso, para a determinação da perda de peso durante o resfriamento rápido e a estocagem.

## 4.2 Sistemas de Embalagens

### 4.2.1 Filmes Plásticos

Através de verificação no mercado, observou-se que os filmes plásticos de polipropileno, micro-perfurados ou não (lisos), estão sendo muito utilizados pelos varejistas. Utilizou-se portanto, este grupo, filmes plásticos de polipropileno micro-perfurados (4 micro-furos de 2mm de diâmetro por  $\text{cm}^2$ ) ou não, com formato de um cone, fabricado pela empresa Transplast, localizada em Piracaia – SP (Figura 6).

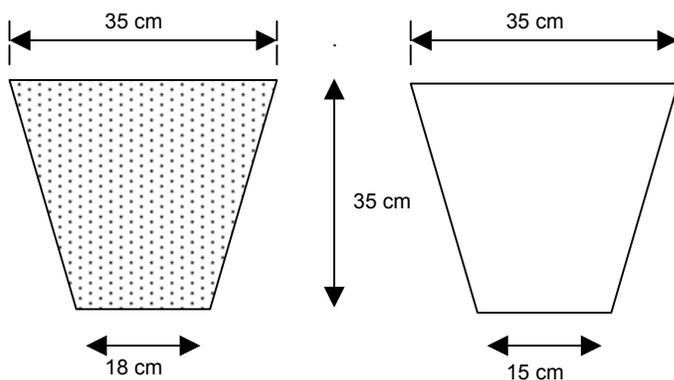


Figura 6 – Filmes plásticos utilizados no resfriamento rápido de alface.

### 4.2.2 Embalagens Plásticas

Foi realizada uma seleção e foram adquiridas no mercado 2 tipos de embalagens (caixas), aplicáveis ao transporte e comercialização da alface (Figura 7).

☞ Caixa A: caixa plástica C-23 da Plastgrup, dimensões: 60 x 40 x 23 cm, área de abertura de  $0,03\text{m}^2$ , peso: 2,0 kg.

☞ Caixa B: caixa plástica modelo 327 da Jody Plast, dimensões: 60 x 40 x 23 cm, área de abertura de  $0,028\text{m}^2$ , peso: 2,0 kg.

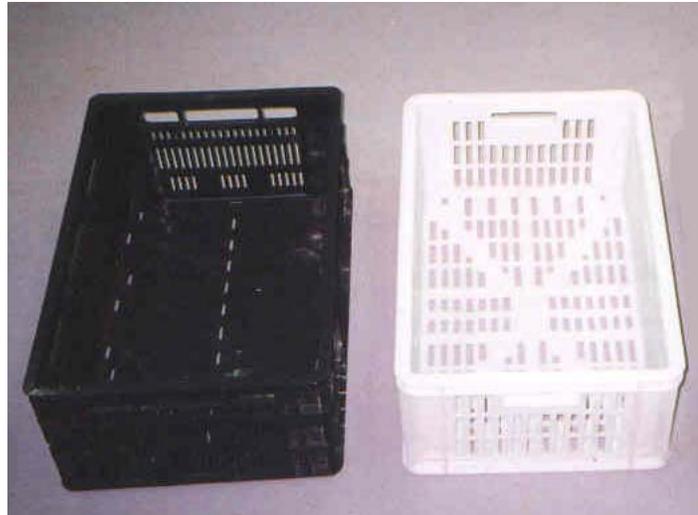


Figura 7 – Caixas plásticas utilizadas no experimento: caixa plástica C-23 da Plastgrup (cor preta) e caixa plástica modelo 327 da Jody Plast (cor branca).



Figura 8 - Caixa plástica modelo 327 da Jody Plast com detalhe das aberturas.

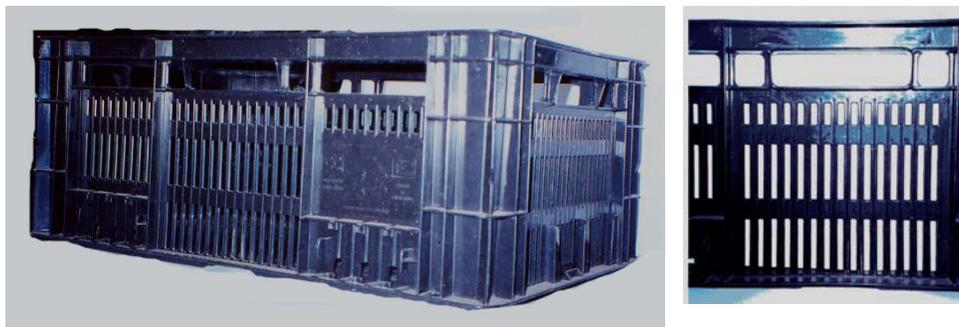


Figura 9 - Caixa plástica C-23 da Plastgrup com detalhe das aberturas.

Estas caixas foram escolhidas com base na verificação da disponibilidade no mercado nacional, características geométricas e utilização das caixas pelos varejistas. Elas não apresentam alto custo de aquisição, tornando possível o seu uso pelo produtor (Apêndice A) .

### **4.3 Transporte da Alface**

As alfaces foram transportadas utilizando-se uma caminhonete, com caçamba descoberta, a uma temperatura ambiente de  $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , da propriedade até o Laboratório de Termodinâmica e Energia da Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP, com um tempo médio de  $20 \pm 5$  minutos, onde foi desenvolvido o experimento.

O tempo médio, entre a aquisição do produto e o início do resfriamento rápido foi de duas horas.

### **4.4 Caracterização do Lote**

Logo que as alfaces chegaram ao Laboratório de Termodinâmica e Energia, uma amostra foi retirada do lote para realizar sua caracterização. Foram retirados 10 pés de alface de cada dia, para a realização da análise sensorial de consumidor, para caracterização inicial e também para determinar a vida de prateleira do produto. Utilizou-se uma escala sensorial hedônica estruturada, aonde 6 julgadores avaliaram os seguintes parâmetros: qualidade geral (1 – péssima, 2 – ruim, 3 regular, 4 - boa e 5 – excelente), murchamento (1 – extremo, 2 – intenso, 3 – moderado, 4 - ligeiro e 5 – nenhum), injúrias (1 – presente em mais de 70% das folhas, 2 – entre 50 e 70%, 3

– menos que 50%, 4 – menos que 30% e 5 – ausente), coloração (1 – extremamente modificada, 2 – intensamente modificada, 3 – moderadamente modificada, 4 – levemente modificada e 5 – normal).

Além destes parâmetros, para a caracterização inicial, também foram avaliados os defeitos (1 - danos mecânicos, 2 – folhas deformadas, 3 – organismos vivos, 4 – queimadas, 5 - lesões e 6 – podridões), e limpeza (1 – péssima, 2 – ruim, 3 – regular, 4 - boa e 5 – excelente).

Todo o material utilizado obteve a seguinte caracterização:

Tabela 3 – Caracterização inicial do material utilizado.

Parâmetros		Notas
Qualidade Geral		4,6
Murchamento		4,9
Injúrias as folhas		4,6
Coloração		5,0
Limpeza		4,8
Defeitos	Podridões	0,8%
	Lesões	3,6%
	Folhas queimadas	4,2%
	Organismos vivos	6,9%
	Folhas deformadas	5,8%
	Danos mecânicos	7,8%

#### 4.5 Sistema de resfriamento rápido

O sistema de resfriamento rápido foi construído dentro das câmaras de armazenagem frigorificada localizadas no Laboratório de Termodinâmica e Energia.

##### 4.5.1 Câmara de armazenagem frigorificada

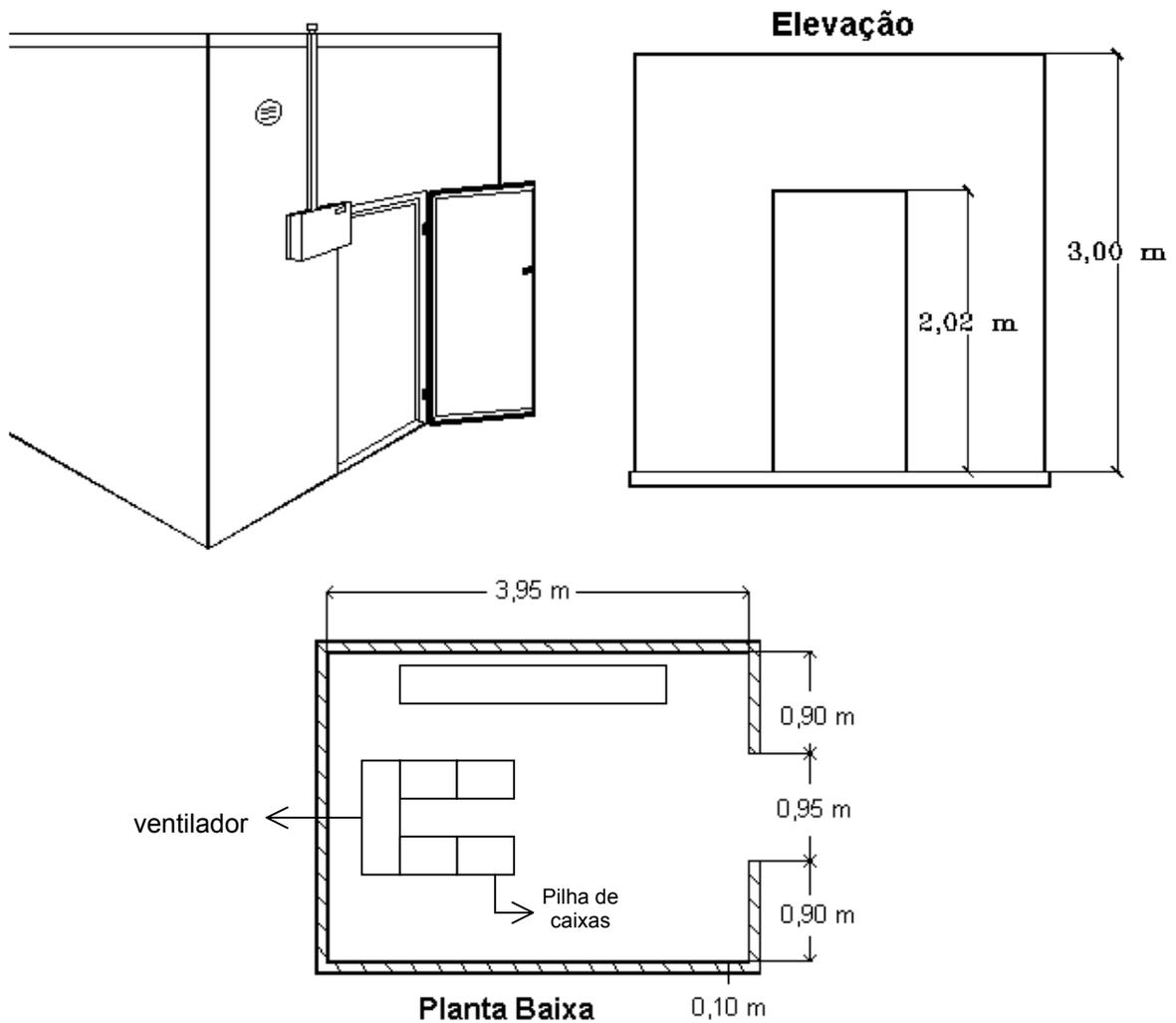


Figura 10 – Esquema da câmara de armazenagem frigorificada e suas dimensões.

As câmaras possuem controle de temperatura e dimensões de 3,75 x 2,75 x 3,00m (Figura 10) e são constituídas de painéis pré-fabricados (Figura 11), revestidos de chapas metálicas, isoladas termicamente com espuma rígida de poliuretano injetado. A espessura de isolamento é de 100mm, considerada técnica e economicamente a ideal para câmaras com temperaturas de operação de até -25°C.

A densidade da espuma é de  $38 \text{ kg.m}^{-3}$ , o coeficiente de condutividade térmica  $K = 0,018 \text{ kcal.m}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{°C}^{-1}$  e a inflamabilidade de acordo com a NBR 7358, classe R1/R2. A junção dos painéis através de engates (“locks”) de acionamento interno, proporciona uma junta seca, feita sem a utilização de massas de vedação, uso de tirantes ou injeção auxiliares de espuma de poliuretano.



Figura 11 – Câmara de armazenagem frigorificada utilizada para a realização do experimento.

Os equipamentos de refrigeração utilizados são evaporadores da marca McQuay, modelo FBA 190 RT e as unidades condensadoras da mesma marca, modelo HSAD A225 (Figura 12).

A temperatura para a realização dos experimentos foi de  $3,8 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$  e 80% UR.

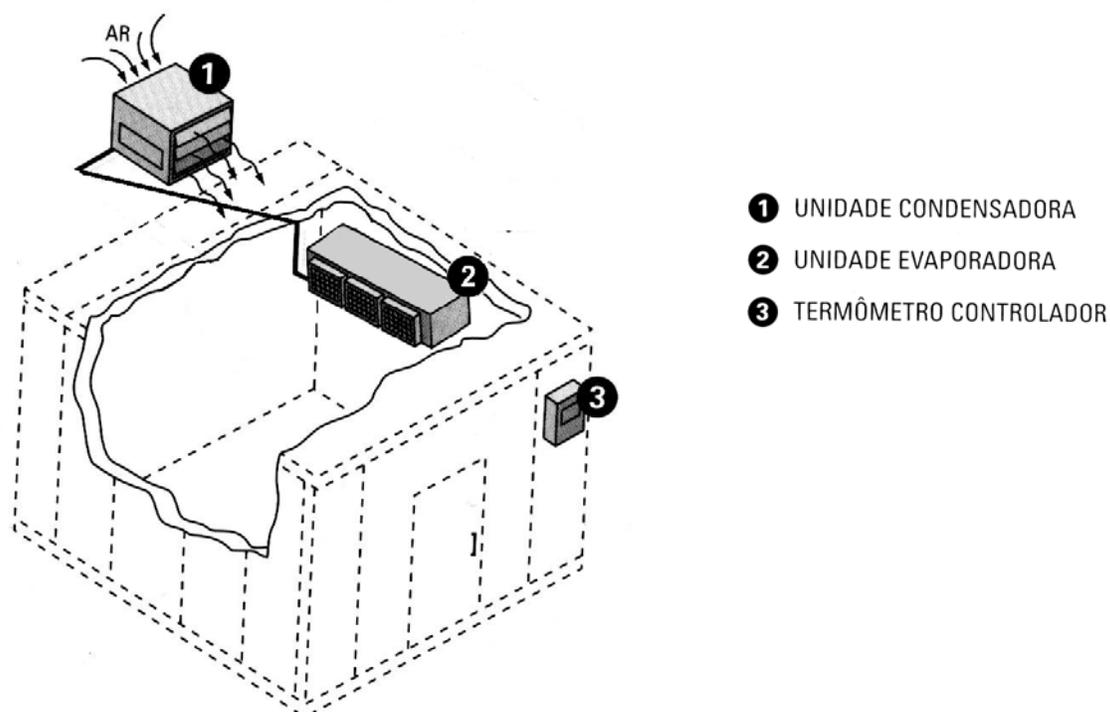


Figura 12 – Distribuição dos equipamentos de refrigeração na câmara frigorificada.

#### 4.5.2 Túnel Californiano

O túnel californiano, segundo KADER (1992), é o sistema de resfriamento com ar forçado mais utilizado. Nele os paletes, bins, ou, como neste experimento, as próprias caixas, são acondicionados em ambos os lados e na frente de um ventilador que funciona como um exaustor criando uma pressão de ar inferior no interior do túnel. Os paletes, bins ou as caixas são cobertos com uma lona plástica. O ar frio da

câmara se move por entre as aberturas laterais das caixas passando pelos interstícios do produto para a zona de baixa pressão, promovendo o resfriamento do produto (Figura 13).

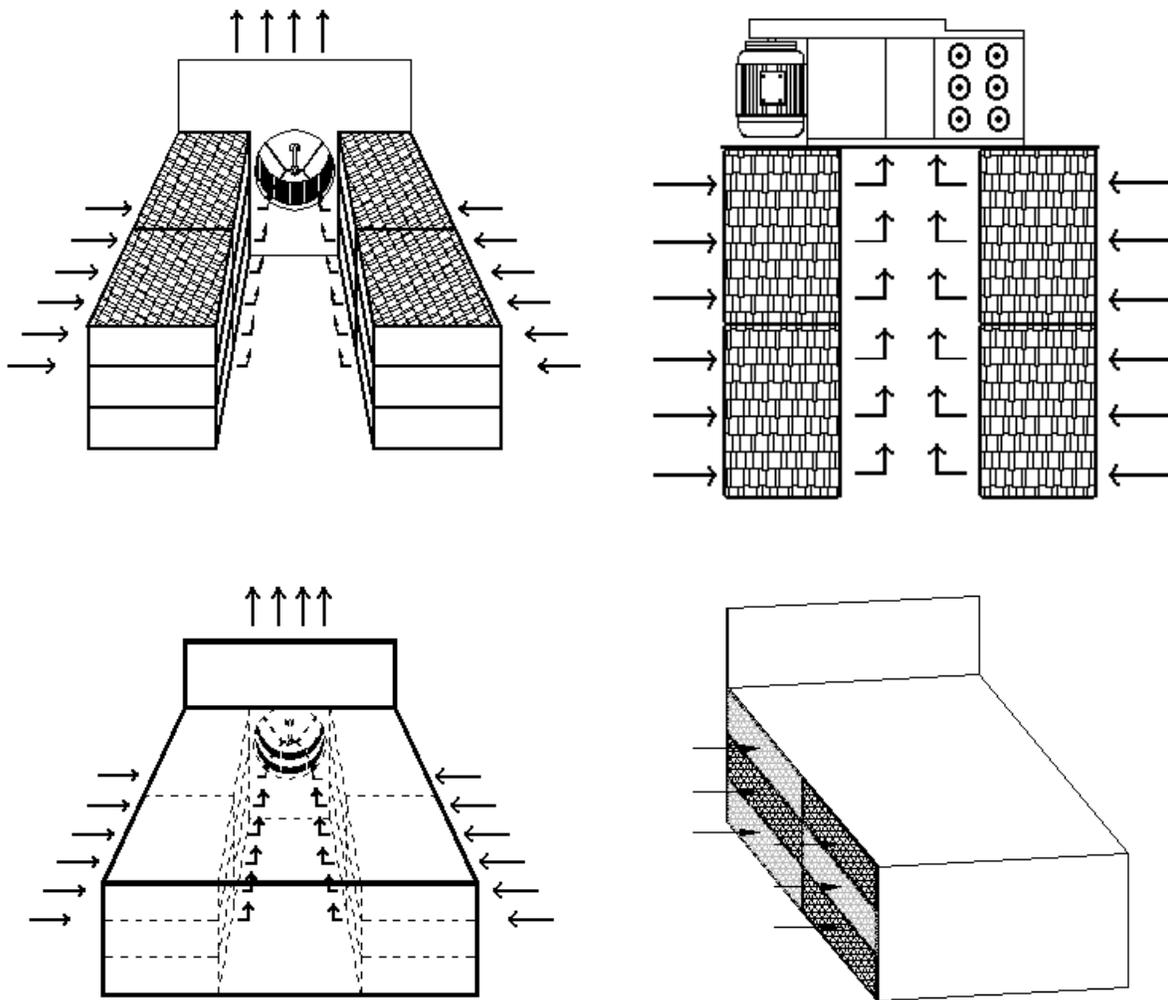


Figura 13 – Sistema de resfriamento por ar forçado, tipo túnel californiano.

#### 4.5.2.1 Ventilador

O ventilador é do tipo centrífugo, o qual promove uma pressão de ar inferior, no interior do túnel, a pressão de ar na câmara, pois funciona como um exaustor.

Para seu dimensionamento foi utilizada a equação:

$$V = A \times n \times v \times 3600 \quad (1)$$

onde:

V – volume de ar a ser deslocado pelo ventilador ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )

A – área de abertura das caixas ( $\text{m}^2$ );

n – número de caixas de um lado do túnel;

v – maior velocidade a ser utilizada ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ );

3600 segundos = 1 hora

A área de abertura das caixas, foi determinada medindo cada uma delas, o que permitiu determinar a sua área, o que multiplicado pelo número de aberturas de cada caixa, permitiu estabelecer a área de aberturas para cada caixa, as quais se mostraram equivalentes ( $0,028\text{m}^2$ ). Multiplicando pelo número de caixas a serem utilizadas para a montagem do túnel, obteve-se a área total para a passagem do ar.

Considerou-se também 20% de perda de carga, a qual é devida pela passagem do ar pelas embalagens. Com isso, calculou-se a necessidade de um ventilador com uma capacidade de  $7220\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

O ventilador adquirido (Figura 14) é da marca Torin, possuindo pás retas para trás de simples aspiração, linha leve, com disponibilidade de troca de correias para variação da rotação e portanto obtenção de diferentes velocidades (Apêndice B).

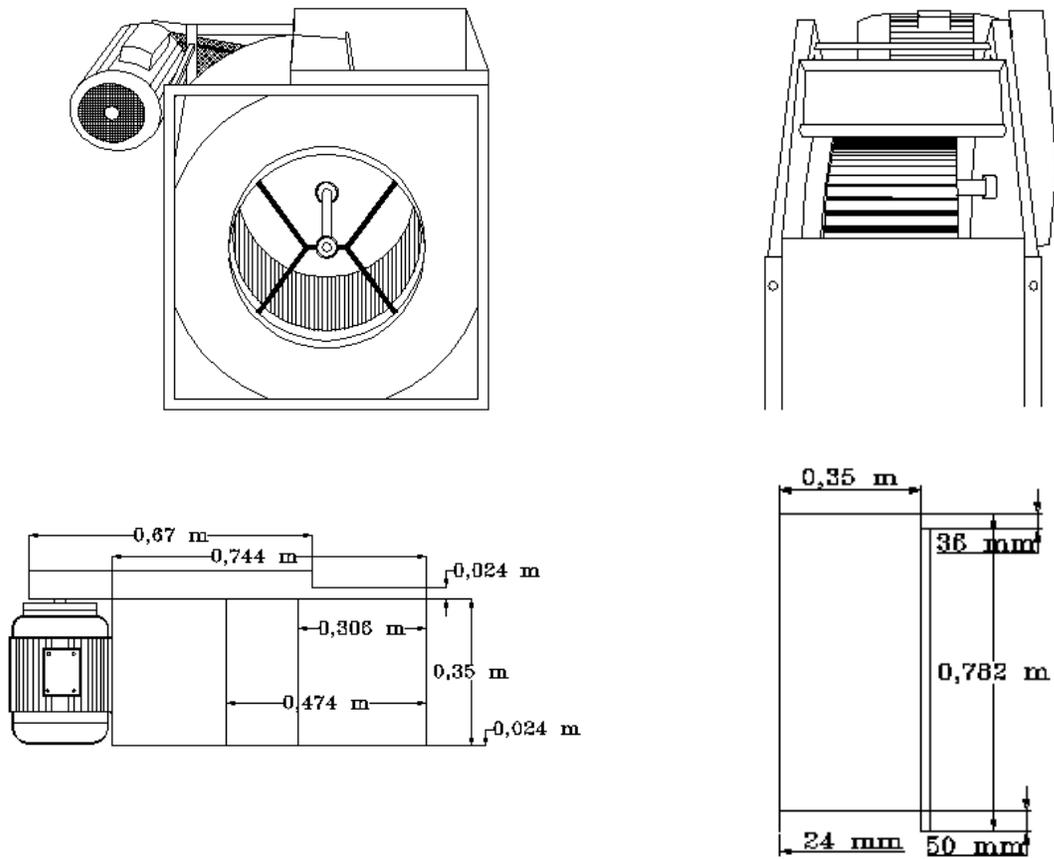


Figura 14 - Ventilador centrífugo utilizado no resfriamento rápido com ar forçado.

#### 4.5.2.2 Determinação da velocidade do ar

Para a determinação da velocidade do ar, foi montado um experimento com diferentes combinações de caixas, filmes e correias (grande, média e pequena) onde se avaliou:

- caixa A (caixa plástica da empresa Plastgrup) com alface embalada em filme plástico “liso”;
- caixa A com alface embalada em filme plástico perfurado;
- caixa A com alface não embalada em filme plástico;
- caixa B (caixa plástica da empresa Jody Plast) com alface embalada em filme plástico “liso”;
- caixa B com alface embalada em filme plástico perfurado;
- caixa B com alface não embalada em filme plástico.

Foi realizada a coleta de dados para todos os tratamentos acima, utilizando-se de três correias que permite três diferentes velocidades. Os dados foram coletados em todo o perfil do túnel de resfriamento de um único lado, pois os dois lados são simétricos. Com o auxílio de um anemômetro de fio quente, TSI® - “Velocicheck Portable Air Velocity Meter”, foi feita a aquisição dos dados em cinco pontos distintos de cada caixa do perfil (Apêndice A), onde ocorria a entrada do ar, obtendo-se 50 pontos adquiridos para cada tratamento e cada velocidade (Figura 15).

A velocidade do ar foi calculada através da média aritmética dos 50 pontos obtidos para cada combinação caixa, filme e correia. Como estas médias não apresentaram diferença entre os tratamentos (Apêndice C), foi calculada novamente

a média aritmética dos dados de todos os tratamentos, determinando-se assim uma única velocidade média do ar com cada correia.

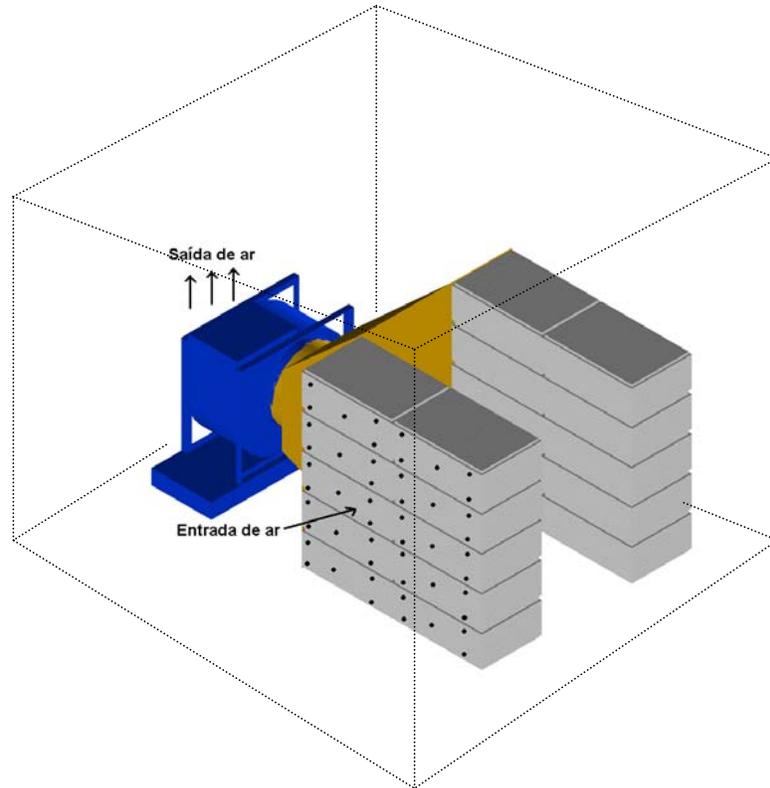


Figura 15 – Esquema representativo dos pontos onde foram realizadas as leituras de velocidade do ar com auxílio de um anemômetro de fio quente.

As velocidades utilizadas para a realização dos experimentos foi:

- Correia menor:  $1,24 \text{ m.s}^{-1}$
- Correia média:  $1,07 \text{ m.s}^{-1}$
- Correia maior:  $0,83 \text{ m.s}^{-1}$

#### 4.5.2.3 Sistema de resfriamento rápido com ar forçado

O parâmetro experimental representado pela velocidade do ar afeta inversamente o tempo de resfriamento. Isto se faz necessário pois, neste

experimento foi estudado a relação entre a velocidade do ar e o tempo de resfriamento do produto considerando-se a economicidade do processo. Isto ocorre pois o aumento da velocidade do ar é obtido pelo aumento da capacidade do ventilador, o que implica em maior consumo energético, assim como há também a restrição da perda de carga oferecida pelo conjunto caixa-filme-produto o que representa uma resistência ao fluxo de ar.

Para a determinação das temperaturas no interior da câmara e no produto, foi instalado um sistema de aquisição de dados por computador. O mesmo encontrava-se ao lado da câmara numa sala de instrumentação para este fim.

O computador, continha uma placa de condicionamento de sinais analógicas PCX-0802 e um conversor de sinais CAD-12/32, com 64 canais de aquisição. O sistema foi instalado e calibrado para trabalhar com termopares tipo "T".

A transformação dos valores lidos em mV para graus centígrados foi feita pelo software AQDADOS, utilizando-se como referência a temperatura da junta fria medida pela CAD 12/32. Durante o desenvolvimento dos testes foi possível monitorar os valores da temperatura em cada canal de aquisição.

A medição das temperaturas no interior da câmara, e no centro do produto foi feito através de uma série de termopares tipo "T" AWG # 24, construídos e calibrados nos laboratórios da Faculdade de Engenharia Agrícola.

#### **4.6 Experimentos realizados**

Foram avaliados os seguintes tratamentos:

↳ Velocidade  $1,24\text{m.s}^{-1}$

1. caixa A com filme plástico 'liso';
2. caixa A com filme plástico perfurado;
3. caixa A sem filme plástico;
4. caixa B com filme plástico 'liso';
5. caixa B com filme plástico perfurado;
6. caixa B sem filme plástico.

↳ Velocidade  $1,07\text{m.s}^{-1}$

1. caixa A com filme plástico 'liso';
2. caixa A com filme plástico perfurado ;
3. caixa A sem filme plástico;
4. caixa B com filme plástico 'liso';
5. caixa B com filme plástico perfurado;
6. caixa B sem filme plástico.

↳ Velocidade  $0,83\text{m.s}^{-1}$

1. caixa A com filme plástico 'liso';
2. caixa A com filme plástico perfurado;
3. caixa A sem filme plástico;
4. caixa B com filme plástico 'liso';
5. caixa B com filme plástico perfurado;
6. caixa B sem filme plástico.

↳ Testemunha

1. caixa A com filme plástico 'liso';
2. caixa A com filme plástico perfurado;
3. caixa A sem filme plástico;
4. caixa B com filme plástico 'liso';
5. caixa B com filme plástico perfurado;
6. caixa B sem filme plástico.

As caixas eram dispostas na câmara, formando o túnel do sistema de resfriamento rápido com ar forçado. A cada caixa era adicionado 4 termopares do tipo "T" AWG # 24, no centro do produto (Figura 16). Após o túnel ser montado (Figura 17), foi ligado o sistema de resfriamento rápido (temperatura inicial do produto 20°C e da câmara 2°C) e o sistema de aquisição de dados pelo computador. Durante o tempo do resfriamento rápido, a temperatura foi monitorado pelo computador e quando a temperatura dos tratamentos aproximou-se de 4°C (temperatura de  $\frac{7}{8}$  do resfriamento), o sistema de resfriamento por ar forçado foi desligado. Após o produto ter atingido a temperatura desejada e o sistema de ar forçado ser desligado, as caixas foram transportadas para a câmara de armazenagem (temperatura controlada a 2°C) para a determinação da vida de prateleira de cada tratamento (Figura 18). As amostras do grupo controle do peso foram novamente pesadas para a determinação da perda de peso durante o processo de resfriamento rápido com ar forçado e a cada 3 dias, estas mesmas amostras eram pesadas, para determinação da perda de peso durante a estocagem e para a determinação da vida de prateleira.

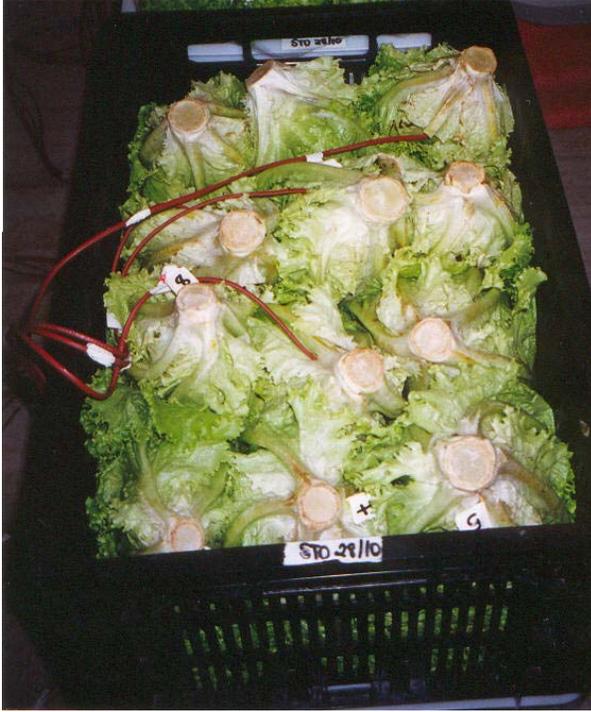


Figura 16 - Colocação dos tremopares no interior do produto.

Os produtos não embalados foram colocados na caixa com a base do produto voltada para cima enquanto que os produto embalados foram dispostos de maneira inversa, levando em consideração o modo de comercialização empregado pelos produtores, pois as alfaces não embaladas se dispostas com a base para baixo, na hora da retirada do produto da caixa, favorece a quebra das folhas, deteriorando o produto.



Figura 17 - Túnel de resfriamento rápido com ar forçado.



Figura 18 - Disposição das caixas plásticas com produto na câmara de armazenagem para determinação da vida de prateleira.

Devido a necessidade de rapidez para o início do resfriamento rápido, optou-se pela realização dos testes separadamente, sendo feito cada ensaio em um dia,

observando e permanecendo, quando possível, as características para todos os ensaios. A cada dia durante os 4 de instalação do experimento, foi utilizada uma das correias do ventilador que proporcionava 3 diferentes velocidades de ar, sendo que no 4<sup>o</sup> dia foi estabelecido o teste no qual não se utilizou o processo de resfriamento rápido, utilizando-se o mesmo procedimento de instalação do experimento, mas sem o túnel de resfriamento rápido, e foi determinado o tempo que os pés de alfaces demoraram para atingir a temperatura esperada.

#### **4.7 Delineamento Experimental**

O delineamento experimental utilizado foi o fatorial 2 x 3 x 3, sendo considerado como fatores as 2 caixas, os 3 filmes plásticos e as 3 velocidades. Os resultados foram analisados através do “software” S-Plus 4.5, o qual permitiu estabelecer a análise de variância (ANOVA), com o Teste de Fisher.LSD como método de comparação de médias, o qual analisa a mínima diferença significativa entre as médias das amostras.

A análise estatística foi empregada para a comparação entre os tratamentos do 12<sup>o</sup> dia do experimento para todos os tratamentos.

Segundo BANZATTO e KRONKA, (1989), a ANOVA consiste na decomposição da variação total existente em um material experimental em partes atribuídas a causas conhecidas e independentes e uma quantidade residual de origem desconhecida (resíduo ou erro experimental). Deste modo, a análise da variância fornece dados que permitem dizer se determinados fatores ou combinação entre fatores exercem influência significativa em algum parâmetro estudado a um certo nível de significância (trabalhou-se com 5%).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Processo de Resfriamento Rápido

Através da Figura 19 pode-se observar que quanto maior a velocidade do ar empregado no sistema de resfriamento rápido com ar forçado, menor será o tempo de  $\frac{7}{8}$  do resfriamento.

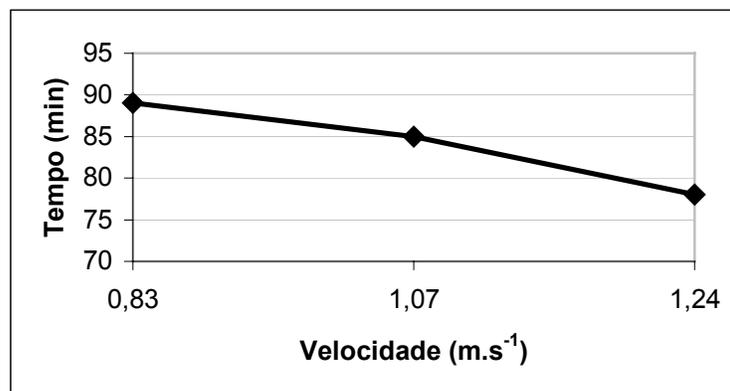


Figura 19 - Relação entre o tempo para se atingir 7/8 do resfriamento e a velocidade do ar empregada.

Estes dados também foram encontrados por MACKINNON et al. (1991), quando trabalharam com resfriamento rápido com ar forçado para espinafre, verificaram que para um maior fluxo de ar, o tempo de  $T/8$  do resfriamento foi menor.

Verifica-se pela Figura 20 que os tratamentos, aonde foram empregadas a maior velocidade ( $1,24 \text{ m.s}^{-1}$ ), o tempo de resfriamento rápido foi de 1 hora e 18 minutos. Observa-se que os tratamentos onde foram utilizados o filme plástico liso (1 e 4) não atingiram a temperatura do tempo de  $T/8$  do resfriamento ( $4,5^\circ\text{C}$ ) permanecendo numa temperatura em torno de  $7^\circ\text{C}$ . Portanto para estes tratamentos consegue-se determinar o tempo em que o produto atingirá a temperatura do tempo de  $T/8$  do resfriamento através de uma equação que correlacionada com a curva de resfriamento. Para o tratamento caixa A filme liso (1) através da equação (2) verificou-se que em 2 horas e 14 minutos o produto atingirá a temperatura de  $4,5^\circ\text{C}$ , esta apresenta uma correlação com a curva de resfriamento de 93% ( $R^2 = 0,93$ ) que mostra a confiabilidade da mesma.

$$y = 17,479e^{-0,013x} \quad (2)$$

onde: y = temperatura ( $^\circ\text{C}$ )

x = tempo (min)

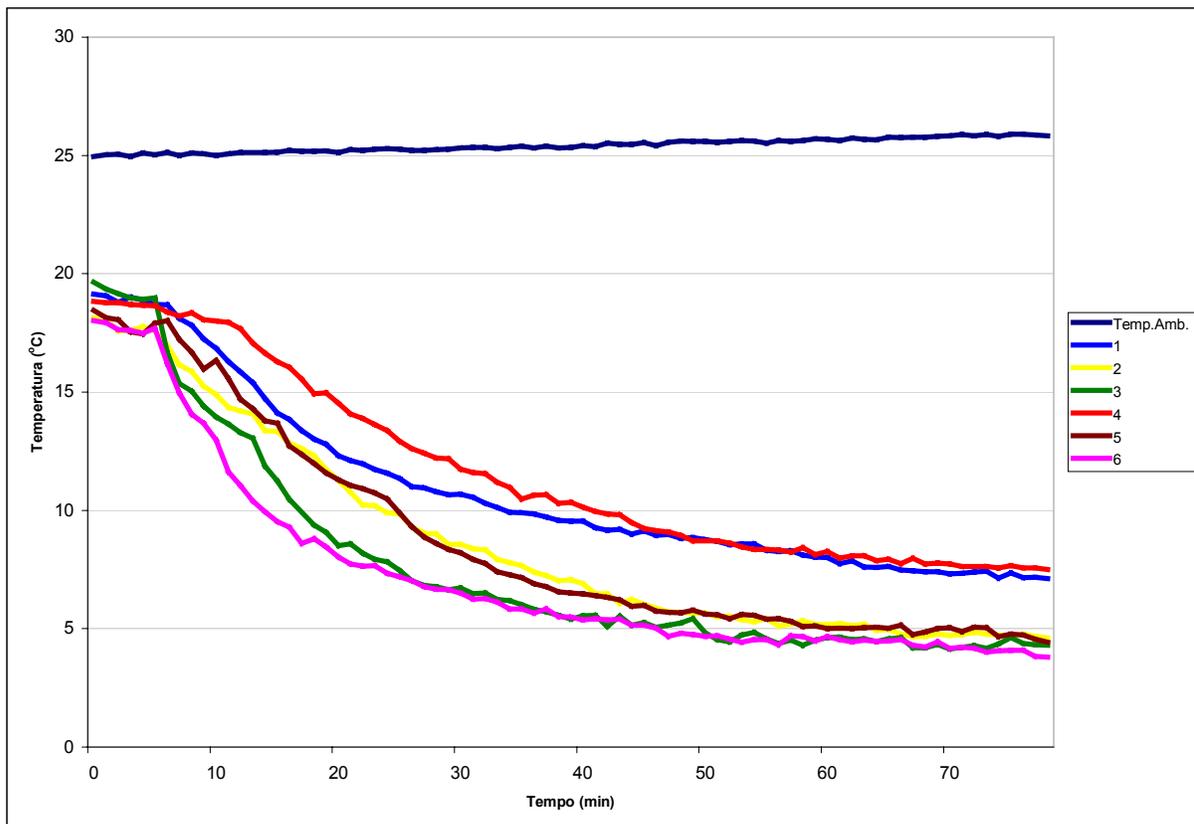
Para o tratamento caixa B filme liso (4), empregando a equação (3) verificou-se que o produto atingirá a temperatura de  $4,5^\circ\text{C}$  em 2 horas e 16 minutos, com 95% ( $R^2 = 0,95$ ) de confiabilidade.

$$y = 19,05e^{-0,0137x} \quad (3)$$

onde: y = temperatura ( $^\circ\text{C}$ )

x = tempo (min)

Para os tratamentos embalados em filme perfurado (2 e 5) a temperatura do tempo de  $\frac{7}{8}$  do resfriamento foi atingida somente no final do processo ( 1 hora e 18 minutos), porém para os tratamentos não embalados (3 e 6) esta temperatura foi alcançada em torno de 1 hora do início do processo.

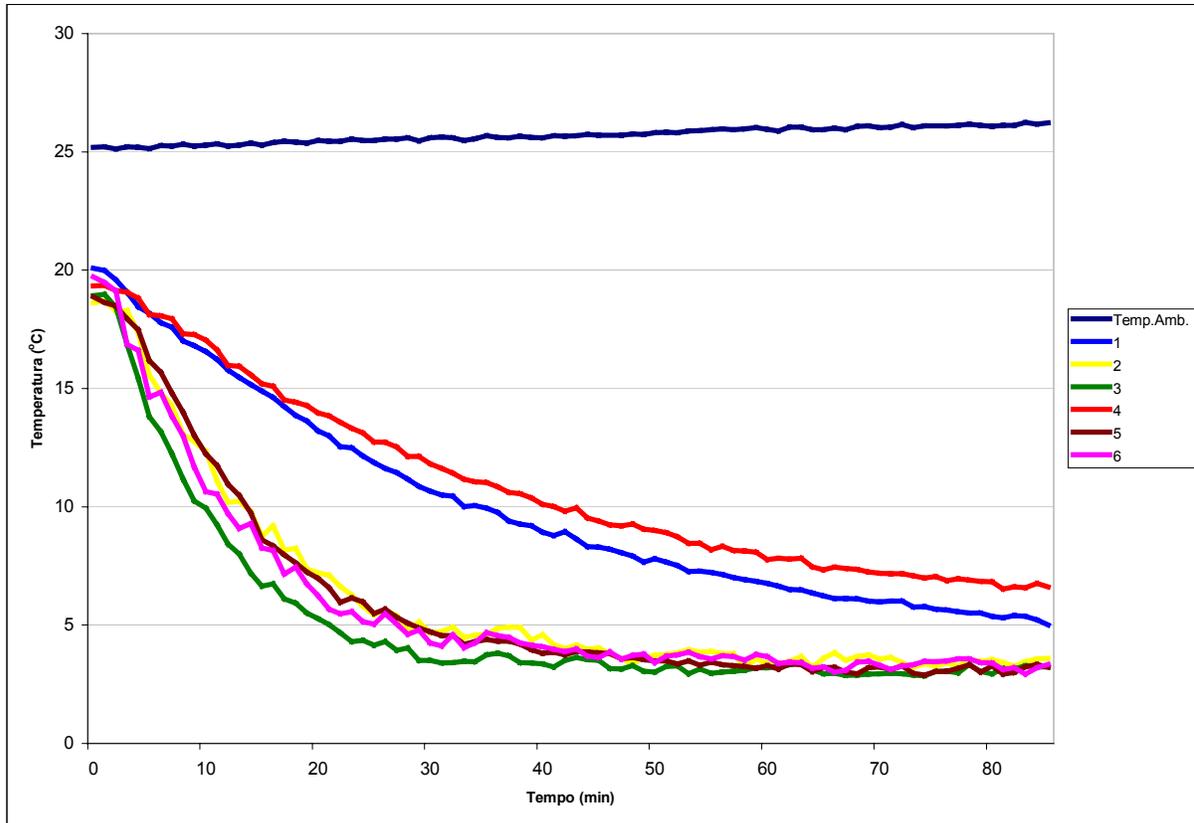


1 – caixa A com filme plástico liso; 2 – caixa A com filme plástico perfurado; 3 – caixa A sem filme plástico; 4 – caixa B com filme plástico liso; 5 – caixa B com filme plástico perfurado; 6 – caixa B sem filme plástico.

Figura 20 - Curva de resfriamento para as alfaces submetidas aos tratamentos com a maior velocidade do ar ( $1,24\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

Para os tratamentos, aonde foram empregadas a velocidade média ( $1,07\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), o tempo do resfriamento foi de 1 hora e 25 minutos (Figura 21). Porém observa-se que os tratamentos onde a alface foi embalada em filme perfurado (2 e 5) e os tratamentos não embalados (3 e 6) atingiram a temperatura do tempo de  $\frac{7}{8}$  do resfriamento anteriormente (em torno de 30 minutos) e os tratamentos com filme liso

(1 e 4) apresentaram redução na temperatura durante o processo de resfriamento rápido com ar forçado porém não atingiram 4,5°C no final do processo.



1 – caixa A com filme plástico liso; 2 – caixa A com filme plástico perfurado; 3 – caixa A sem filme plástico; 4 – caixa B com filme plástico liso; 5 – caixa B com filme plástico perfurado; 6 – caixa B sem filme plástico.

Figura 21 - Curva de resfriamento para as alfaces submetidas aos tratamentos com a velocidade média do ar ( $1,07\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

O tratamento caixa A filme liso (1) teve sua temperatura bem reduzida se aproximando bem da temperatura desejada, porém com a equação (4) determinou-se que o produto atinge a temperatura de 4,5°C em 1 hora e 46 minutos de processo com uma confiabilidade de 98% ( $R^2 = 0,98$ ). Para o tratamento caixa B filme liso (4) empregando a equação (5) a temperatura de 4,5°C será atingida às 2 horas e 16 minutos do início do processo, mostrando uma confiabilidade de 98% ( $R^2 = 0,98$ ).

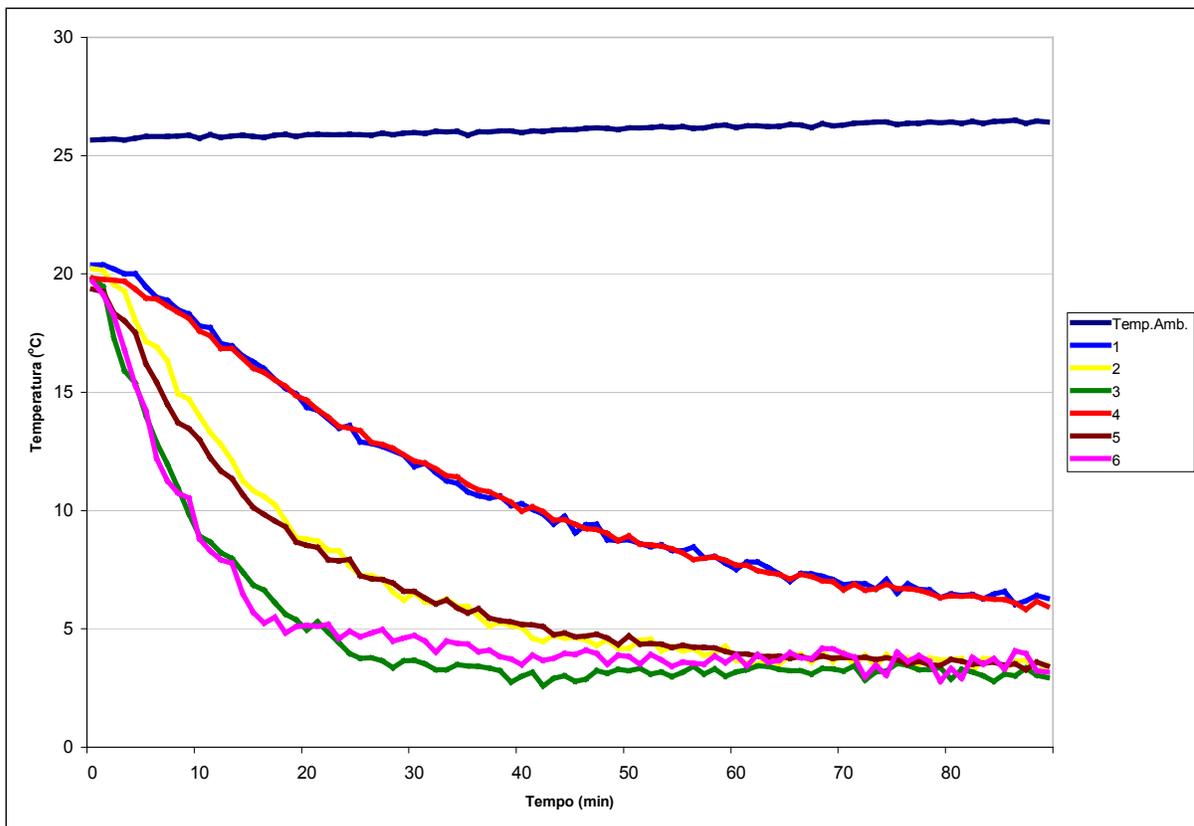
$$y = 18,716e^{-0,0163x} \quad (4)$$

$$y = 18,595e^{-0,0134x} \quad (5)$$

onde: y = temperatura (°C)

x = tempo (min)

Nos tratamentos onde foi utilizada a menor velocidade ( $0,83 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) o tempo de resfriamento foi de 1 hora e 29 minutos (Figura 22). Os tratamentos não embalados (3 e 6) atingiram a temperatura do tempo de  $\frac{7}{8}$  do resfriamento e os embalados em filme perfurado (2 e 5) a um tempo de aproximadamente de 40 minutos se resfriaram a temperatura de  $4,5^\circ\text{C}$ .



1 – caixa A com filme plástico liso; 2 – caixa A com filme plástico perfurado; 3 – caixa A sem filme plástico; 4 – caixa B com filme plástico liso; 5 – caixa B com filme plástico perfurado; 6 – caixa B sem filme plástico.

Figura 22 - Curva de resfriamento para as alfaces submetidas aos tratamentos com a menor velocidade do ar ( $0,83\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

Os tratamentos embalados em filme liso (1 e 4) não atingiram a temperatura desejada no final do processo. Para o tratamento caixa A filme liso (1) a equação (6) representa a curva de resfriamento com uma confiabilidade de 97% ( $R^2 = 0,97$ ) e através desta verificou-se que em 2 horas e 8 minutos, de resfriamento com ar forçado, o produto atinge a temperatura de 4,5°C e para o tratamento caixa B filme liso (4), empregando a equação (7) determinou-se que a temperatura desejada será atingida em 2 horas e 9 minutos com 98% de confiabilidade ( $R^2 = 0,98$ ).

$$y = 19,51e^{-0,0143x} \quad (6)$$

$$y = 19,54e^{-0,0145x} \quad (7)$$

Onde  $y$  = temperatura (°C)

$x$  = tempo (min)

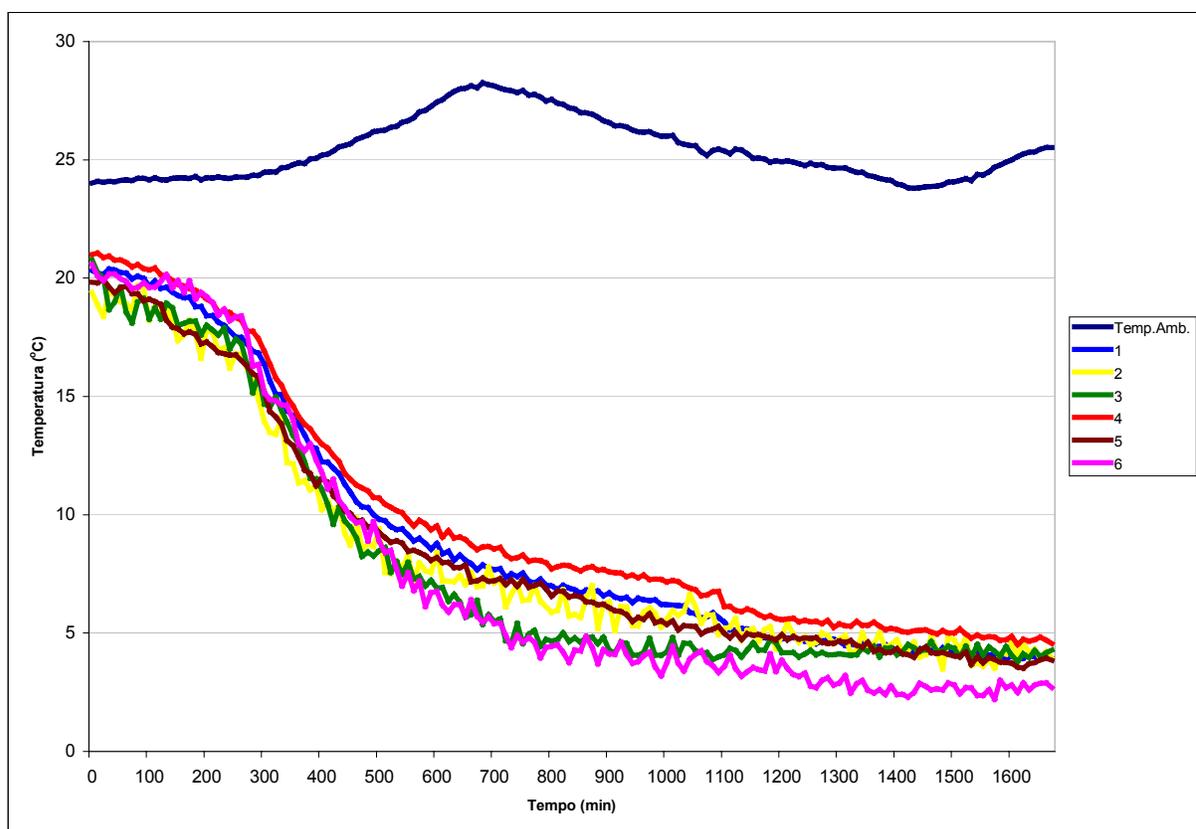
Quando comparamos as três velocidades utilizadas, verificamos que os tratamentos submetidos a uma velocidade maior (1,24 m.s<sup>-1</sup>) apresentaram um tempo de  $7/8$  de resfriamento menor e para os tratamentos submetidos a velocidades menores (1,07 m.s<sup>-1</sup> e 0,83 m.s<sup>-1</sup>), um tempo de  $7/8$  de resfriamento maior.

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 a taxa de transferência de calor do produto para o ar (MACKINNON et al., 1991).

Em relação à utilização dos filmes plásticos, verificamos que, independente da velocidade utilizada, os tratamentos com filmes plásticos sem perfuração se mostraram com as maiores temperaturas durante o processo, devido a barreira que o filme plástico ofereceu ao ar frio. Para os filmes perfurados, esta barreira não foi tão

evidente, apresentando-se em alguns casos igual ou bem semelhante aos tratamentos não embalados. Portanto, a barreira apresentada por este tipo de filme plástico pode ser considerada como uma barreira parcial.

Para as caixas utilizadas, não verificou-se diferença pois elas se mostraram em diferentes posição nas curvas de resfriamento, não estabelecendo um efeito concreto na sua influência. Isto ocorreu pois a área de abertura de ambas são equivalentes (caixa branca – 0,028 m<sup>2</sup> e caixa preta – 0,027 m<sup>2</sup>).



1 – caixa A com filme plástico liso; 2 – caixa A com filme plástico perfurado; 3 – caixa A sem filme plástico; 4 – caixa B com filme plástico liso; 5 – caixa B com filme plástico perfurado; 6 – caixa B sem filme plástico.

Figura 23 - Curva de resfriamento para os tratamentos submetidos ao resfriamento em câmara frigorificada.

Através da Figura 23 observa-se a curva de resfriamento dos tratamentos que não sofreram o resfriamento rápido com ar forçado e sim resfriamento em câmara frigorífica e o tempo necessário para que o produto de todos os tratamentos atingisse a temperatura desejada (4,5°C) foi de 28 horas e 23 minutos.

Verifica-se também que todos os tratamentos até as 8 horas e 30 minutos de resfriamento se mantiveram com a mesma queda de temperatura e após isto, os tratamentos não embalados (3 e 6) atingiram a temperatura desejada em torno de 14 horas do início do processo, os tratamentos embalados em filme perfurado (2 e 5) às 22 horas e os embalados com filme liso no final do processo.

Observa-se então que a refrigeração convencional reduz a temperatura da alface muito lentamente, proporcionando a rápida deterioração em contrapartida a tecnologia do resfriamento rápido com ar forçado esta redução é muito mais rápida promovendo o prolongamento da vida de prateleira da alface.

Para realizar a análise estatística comparando as velocidades determinou-se a inclinação das curvas e através destes valores foi feita a análise de variância para verificar a diferença significativa dos diferentes tratamentos. Na Tabela 4 observa-se que para os diferentes tratamentos e para as diferentes temperaturas não houve diferença significativa para a queda de temperatura do produto, porém verificou-se anteriormente que o tempo necessário para o produto atingir a temperatura desejada foi diferente para as três velocidades e para os tratamentos submetidos a refrigeração sem o sistema de ar forçado. Contudo, observou-se que com a utilização da tecnologia empregada, a redução na temperatura do produto é mais rápida e eficiente.

Tabela 4 - Análise de variância da inclinação das curvas para todos os tratamentos.

	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.calculado	F.tabelado
Caixa	1	0,000090870	0,0000908704	0,967710	0,3285463
Filme	2	0,000033841	0,0000169207	0,180195	0,8354832
Velocidade	3	0,000316475	0,0001054915	1,123415	0,3453668
Caixa:filme	2	0,000292301	0,0001461507	1,556408	0,2179035
Caixa:velocidade	3	0,000168555	0,0000561849	0,598331	0,6181607
Filme:velocidade	6	0,000544761	0,0000907935	0,966891	0,4538649
Cx:flm:velocidade	6	0,000528241	0,0000880402	0,937569	0,4736798
Resíduo	72	0,006760985	0,0000939026	-	-

G.L. – Graus de liberdade

S.Q. – Soma dos quadrados

Q.M. – Quadrado médio

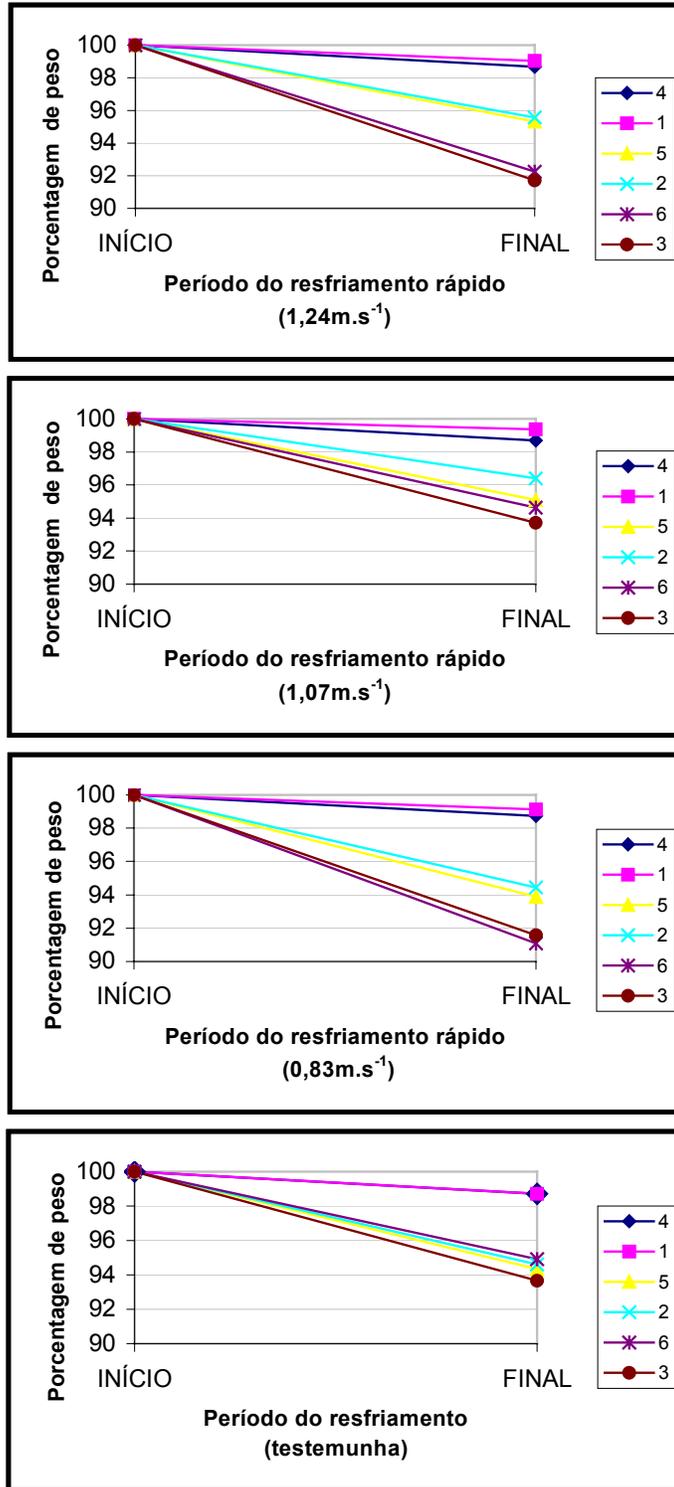
## 5.2 Perda de Peso

### 5.2.1 Perda de Peso Durante o Processo de Resfriamento

Com relação a perda de peso durante o processo de resfriamento, todos os tratamentos perderam peso (Figura 24).

Através da análise de variância pôde-se observar que os fatores que influenciaram a perda de peso durante o processo de resfriamento foram o filme plástico utilizado para cada tratamento, a velocidade empregada e a interação do filme com a velocidade.

Na Tabela 5 observa-se que, independente da caixa plástica utilizada, os tratamentos com filme plástico liso se apresentaram com a menor perda de peso e



1 – caixa A com filme plástico liso; 2 – caixa A com filme plástico perfurado; 3 – caixa A sem filme plástico; 4 – caixa B com filme plástico liso; 5 – caixa B com filme plástico perfurado; 6 – caixa B sem filme plástico.

Figura 24 - Perda de peso da alface no resfriamento usando-se diferentes tratamentos.

os tratamentos sem o filme plástico foram os que mais sofreram com a perda de peso. Já os tratamentos com o filme plástico perfurado, apresentaram uma perda de peso mediana, e todos se mostraram diferentes entre si, ao nível de significância de 5%.

Isto vem ao encontro de HARDENBURG (1986), quando relatou que para se minimizar a perda d'água dos produtos, é necessário o uso de embalagens para a proteção.

Tabela 5 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para perda de peso durante o processo de resfriamento comparando os filmes utilizados, com nível de significância de 5%.

Filmes plásticos	Médias (%)
Nenhum	8,55 a
Perfurado	6,43 b
Sem perfuração	1,44 c

Tabela 6 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para perda de peso durante o processo de resfriamento comparando as velocidades utilizadas, com nível de significância de 5%.

Velocidades	Médias (%)
Maior	6,44 a
Menor	6,33 a
Média	4,84 b
Sem velocidade	4,30 b

Para as velocidades, os tratamentos seguidos de mesma letra não apresentam diferença ao nível de significância de 5% (Tabela 6). As velocidades

maior e menor apresentaram a maior perda de peso durante o processo de resfriamento rápido com ar forçado, enquanto que a velocidade média e os tratamentos submetidos ao resfriamento em câmara frigorificada apresentaram as menores perdas. Pode-se explicar o ocorrido tendo em vista que os tratamentos submetidos a maior velocidade receberam um maior fluxo de ar durante o processo e que os tratamentos submetidos a menor velocidade receberam um fluxo de ar por um período de tempo maior. Esta perda de peso é decorrente ao processo de translocação da água presente na alface de um meio de maior pressão de vapor (alface) para um meio de menor pressão de vapor (ar).

Já para a velocidade média, as alfaces não ficaram expostas a um fluxo alto de ar e o tempo de resfriamento foi menor. Para a estocagem, o ar não foi forçado a passar pelo produto, tomando o caminho de menor resistência e diminuindo o processo de translocação da água consequentemente obtendo um tempo de resfriamento maior.

A análise de variância feita para a interação entre o filme plástico e a velocidade mostrou que havia diferença entre os tratamentos a nível de significância de 5%, e que levou a realização da análise para comparação de médias das amostras (Teste de Fisher.LSD) para verificar quais tratamentos que se diferenciavam.

A Tabela 7 mostra que os tratamentos seguidos de mesma letra não diferem entre si ao nível de significância de 5%.

As interações sem filme com maior velocidade e sem filme com menor velocidade apresentaram as maiores médias e não são significativamente diferentes entre si a nível de 5% de significância, mostrando-se com as piores interações em

relação a perda de peso durante o processo de resfriamento, enquanto que as interações envolvendo o filme sem perfuração mostraram-se significativamente iguais apresentando as menores médias, como que já foi observado na análise dos filmes e das velocidades, portanto são as melhores interações para o controle da perda de peso durante o processo de resfriamento.

Tabela 7 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para perda de peso durante o processo de resfriamento comparando as interações entre os filmes plásticos e as velocidades utilizadas, com nível de significância de 5%.

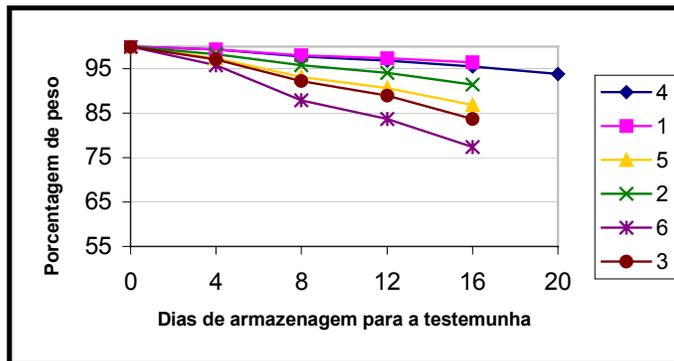
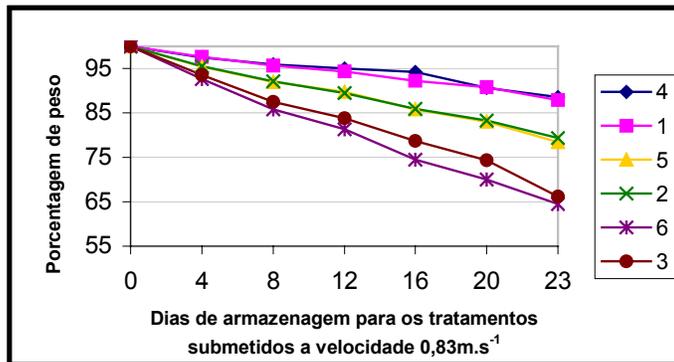
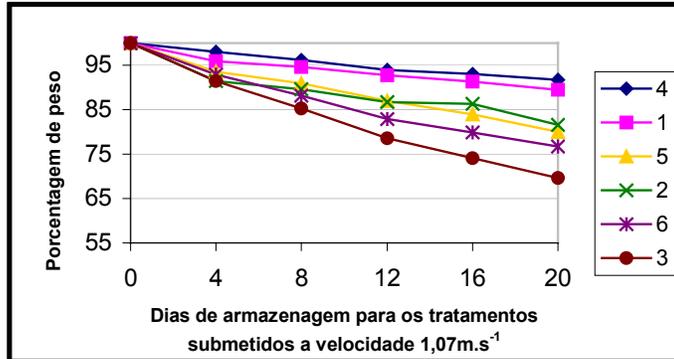
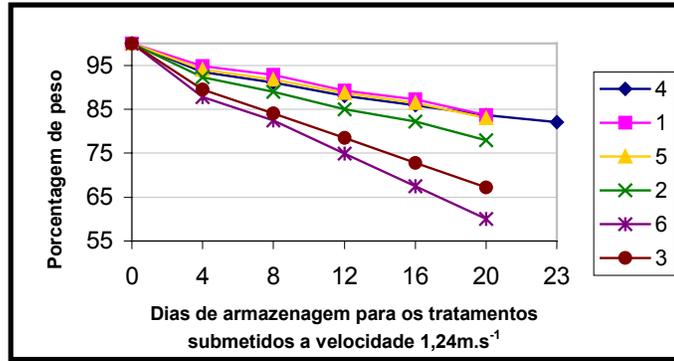
Interação filme - velocidade	Média (%)
Sem filme - maior velocidade	11,18 a
Sem filme - menor velocidade	10,05 a
Filme perfurado – menor velocidade	7,69 b
Sem filme – velocidade média	6,73 b c
Filme perfurado – velocidade média	6,41 b c d
Sem filme – sem velocidade	6,25 c d
Filme perfurado – maior velocidade	6,21 c d
Filme perfurado – sem velocidade	5,41 d
Filme sem perfuração – maior velocidade	1,91 e
Filme sem perfuração – velocidade média	1,36 e
Filme sem perfuração – sem velocidade	1,25 e
Filme sem perfuração – menor velocidade	1,25 e

### 5.2.2 Perda de Peso na Armazenagem Refrigerada.

A perda de peso na armazenagem durante a determinação da vida de prateleira é mostrado na Figura 25 e observa-se que durante o processo de resfriamento, os tratamentos que apresentaram perda de peso mais acentuada, foram aqueles em que não se utilizou o filme plástico para proteção das alfaces (3 e 6), seguidos dos que foram embalados com filme plástico perfurado (2 e 5) e os que menos perderam peso foram aqueles onde a embalagem utilizada foi o filme plástico sem perfuração (1 e 4), mas todos os tratamentos apresentaram uma perda de peso gradual durante o período de armazenamento

Os tratamentos submetidos a maior velocidade ( $1,24\text{m.s}^{-1}$ ), apresentaram uma maior perda de peso, finalizando o experimento com um peso entre 60 e 85% do peso inicial.

A análise estatística foi realizada no 12<sup>o</sup> dia e verificou-se através da análise de variância que houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade para os fatores filme, velocidade e para as interações filme x velocidade, caixa x velocidade e caixa x velocidade x filme.



1 – caixa A com filme plástico liso; 2 – caixa A com filme plástico perfurado; 3 – caixa A sem filme plástico; 4 – caixa B com filme plástico liso; 5 – caixa B com filme plástico perfurado; 6 – caixa B sem filme plástico.

Figura 25 - Perda de peso da alface durante o armazenamento para determinação da vida de prateleira usando diferentes tratamentos.

Tabela 8 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para perda de peso durante a armazenagem refrigerada comparando os filmes utilizados, com nível de significância de 5%.

Filmes plásticos	Médias (%)
Nenhum	18,47 a
Perfurado	11,53 b
Sem perfuração	6,43 c

Na Tabela 8 observa-se que no 12<sup>o</sup> dia de estocagem, os tratamentos onde não foi utilizado o filme plástico se apresentaram com a maior perda de peso, prejudicando a vida útil da alface, isto ocorreu devido ao ar frio da câmara estar com uma umidade relativa inferior (80%) que a indicada para conservação deste produto favorecendo o processo de translocação da água da alface para o ambiente da câmara. Outro fator observado foi que as alfaces não embaladas perderam folhas durante a armazenagem ocorrida devido o manuseio.

Tabela 9 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para perda de peso durante a armazenagem refrigerada comparando as velocidades utilizadas, com nível de significância de 5%.

Velocidades	Médias (%)
Maior	15,79 a
Média	13,03 a
Menor	11,59 b
Sem velocidade	8,17 b

Observa-se que para os tratamentos onde foram aplicadas as velocidades, maior e média, (Tabela 9) apresentaram perdas de peso maiores devido ao processo de resfriamento acelerar o processo de translocação da água. Já para os tratamentos, velocidade menor e resfriamento em câmara, apresentaram as menores perdas de peso como o mostrado no processo de resfriamento, mantendo o processo de translocação da água estável, sendo considerado como os melhores fatores para a conservação da alface em relação à perda de peso. Isto ocorreu pois a pressão do vapor d'água das alfaces pré-resfriadas no final do processo de resfriamento rápido com ar forçado ainda apresentavam valor superior a pressão do vapor d'água do ar da câmara de armazenagem, favorecendo a perda de peso. Já para as alfaces resfriadas na câmara, por ficarem um período maior no processo de resfriamento, a pressão vapor d'água das alfaces atingiu valores menores, aproximando-se da pressão de vapor d'água da câmara de armazenagem, diminuindo assim a perda d'água durante a armazenagem frigorificada.

Para a interação caixa x velocidade (Tabela 10), a caixa branca submetida a maior velocidade, assim como a preta na maior velocidade e a preta na velocidade média, foram os tratamentos que apresentaram os maiores valores de perda de peso, não mostrando diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade, enquanto que as duas caixas, submetidas ao resfriamento em câmara frigorificada apresentaram valores menores para este parâmetro mostrando-se como os que mais controlaram a perda de peso das alfaces.

Tabela 10 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para perda de peso durante a armazenagem refrigerada comparando as interações caixas - velocidades, com nível de significância de 5%.

Interação caixa - velocidade	Média (%)
Branca – maior velocidade	16,00 a
Preta - maior velocidade	15,58 a
Preta – velocidade média	14,07 a b
Branca – velocidade média	12,00 b c
Preta – menor velocidade	11,86 b c
Branca – menor velocidade	11,31 b c
Branca – sem velocidade	9,67 c d
Preta – sem velocidade	6,68 d

Tabela 11 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para perda de peso durante a armazenagem refrigerada comparando as interações entre os filmes plásticos e as velocidades utilizadas, com nível de significância de 5%.

Interação filme - velocidade	Médias (%)
Sem filme - maior velocidade	23,25 a
Sem filme – velocidade média	19,35 b
Sem filme – menor velocidade	17,32 b
Sem filme – sem velocidade	13,97 c
Filme perfurado – velocidade média	13,24 c d
Filme perfurado – maior velocidade	13,09 c d
Filme perfurado – menor velocidade	12,09 c d
Filme sem perfuração – maior velocidade	11,05 d e
Filme perfurado – sem velocidade	7,70 e
Filme sem perfuração – velocidade média	6,50 e
Filme sem perfuração – menor velocidade	5,34 e
Filme sem perfuração – sem velocidade	2,85 f

Na interação filme x velocidade (Tabela 11), o tratamento mais atingindo pela perda de peso no 12<sup>o</sup> dia de armazenamento foi o sem filme x maior velocidade, apresentando valores de 23% de perda de peso, seguido dos demais tratamentos onde as alfaces não foram embaladas. Isto mostra que a utilização de filmes protetores é uma necessidade para a realização do resfriamento rápido em alface.

Os tratamentos onde as alfaces foram embaladas em filme sem perfuração foram as que menos perderem peso, mostrando-se como a melhor maneira de conservar alface reduzindo perda de peso. Isto ocorreu devido a microatmosfera formada entre o produto e a filme plástico favorecendo o produto. Destes, o melhor foi o tratamento filme sem perfuração x sem velocidade, conservando a alface até o 12<sup>o</sup> dia de armazenagem com 2, 85% de perda de peso.

A interação dos três fatores (Tabela 12) caixa x velocidade x filme confirma que os tratamentos mais afetados foram os branca x maior velocidade x sem filme, preta x velocidade média x sem filme, preta x maior velocidade x sem filme, branca x menor velocidade x sem filme onde apresentaram as maiores porcentagens de perda de peso até o 12<sup>o</sup> dia de armazenagem e que para este mesmo período os tratamentos preta x menor velocidade x filme liso, branca x menor velocidade x filme perfurado, branca x sem velocidade x filme liso e preta x sem velocidade x filme liso apresentaram as menores porcentagens de perda de peso durante a armazenagem.

Tabela 12 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para perda de peso durante a armazenagem refrigerada comparando as interações entre as caixas, os filmes plásticos e as velocidades utilizadas, com nível de significância de 5%.

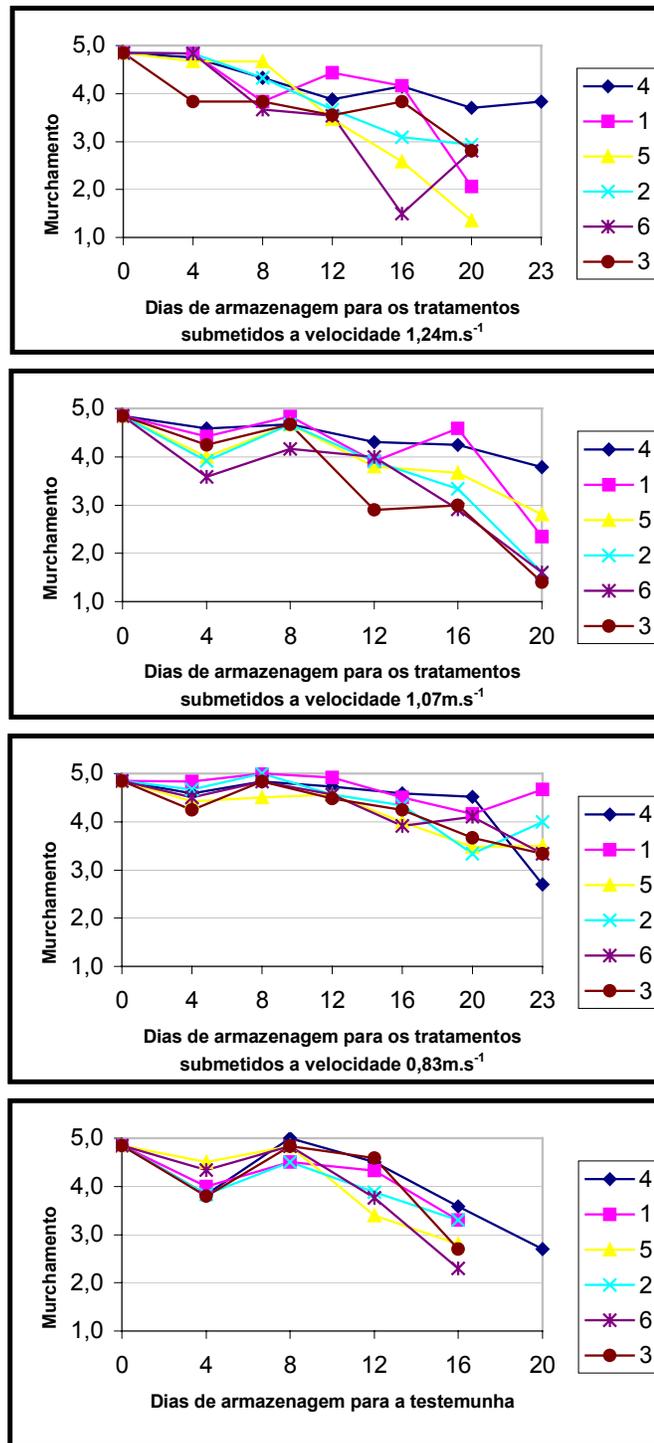
Interação caixa – filme - velocidade	Média (%)
Branca - maior velocidade – sem filme	24,98 a
Preta – velocidade média – sem filme	21,71 a b
Preta - maior velocidade – sem filme	21,52 b
Branca – menor velocidade – sem filme	18,55 b c
Branca – velocidade média – sem filme	16,99 c d
Branca – sem velocidade – sem filme	16,44 c d e
Preta - menor velocidade – sem filme	16,10 c d e f
Preta - maior velocidade –filme perfurado	14,86 d e f g h
Preta -menor velocidade –filme perfurado	13,75 d e f g h i
Preta –velocidade média –filme perfurado	13,46 e f g h i
Branca–velocidade média –filme perfurado	13,02 f g h i
Branca - maior velocidade – filme liso	11,72 g h i j
Preta – sem velocidade – sem filme	11,50 h i j
Branca - maior velocidade –filme perfurado	11,32 i j
Branca -menor velocidade –filme perfurado	10,44 i j
Preta - maior velocidade – filme liso	10,37 j
Branca – sem velocidade – filme perfurado	9,43 j l
Preta - velocidade média – filme liso	7,03 l
Preta – sem velocidade – filme perfurado	5,98 l m
Branca - velocidade média – filme liso	5,97 l m
Preta – menor velocidade – filme liso	5,74 l m N
Branca –menor velocidade–filme perfurado	4,94 m N
Branca – sem velocidade – filme liso	3,13 m N
Preta – sem velocidade – filme liso	2,56 N

### **5.3 Análise Sensorial**

#### **5.3.1 Murchamento**

O murchamento durante a armazenagem, para todos os tratamentos, apresentou-se com aumento durante todo o período de estocagem (Figura 26). Este murchamento se deu devido a perda de peso através da perda d'água do produto para a atmosfera da câmara, e isto ocorre porque a pressão do vapor d'água das folhas da alface foi maior que a pressão do vapor d'água do ar da câmara, formando um déficit no qual o vapor d'água existente no produto migra de uma maior pressão para a menor pressão, ocasionando a perda de peso do produto e conseqüentemente interferindo em sua textura, mostrando-se, assim, um produto mais murcho. A oscilação dos dados é dada pela retirada de amostras diferentes durante o tempo de armazenamento para a realização da análise sensorial.

Para os tratamentos onde foi utilizado uma velocidade maior durante o processo de resfriamento rápido com ar forçado ( $1,24\text{m.s}^{-1}$ ), este murchamento foi gradual, apresentando-se no 12º dia de armazenamento, como a velocidade que mais influenciou na perda de peso (Tabela 14). Após este dia, o murchamento se manteve em acréscimo, com exceção do tratamento caixa branca x filme sem perfuração, também verificado através da Tabela 13, que para o 12º dia o filme sem perfuração apresentou o maior valor para o murchamento, mantendo-se entre ligeiro e moderado durante todo o período de armazenagem conservando-se assim até o 23º dia. Para o tratamento caixa branca x filme perfurado o murchamento apresentou-se com aumento acentuado a partir do 8º dia, apresentando-se assim ao 20º dia um murchamento entre intenso e extremo, confirmando com a perda de peso.



1 – caixa A com filme plástico liso; 2 – caixa A com filme plástico perfurado; 3 – caixa A sem filme plástico; 4 – caixa B com filme plástico liso; 5 – caixa B com filme plástico perfurado; 6 – caixa B sem filme plástico.

Figura 26 - Murchamento das alfaces durante o armazenamento para determinação da vida útil.

Para a velocidade média, os tratamentos mostraram o murchamento controlado até o 8º dia, ocorrendo após isto um aumento acentuado para estes, mas o tratamento branca x sem perfuração foi o que se apresentou menos afetado, mantendo-se entre ligeiro e moderado até o 20º dia, seguido dos tratamentos preta x sem perfuração e branca x perfurado que ao 20º dia mostraram-se entre moderado e intenso.

Tabela 13 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para murchamento durante a armazenagem refrigerada comparando os filmes utilizados, com nível de significância de 5%.

Filmes plásticos	Médias
Sem perfuração	4,25 a
Sem filme	3,78 b
Perfurado	3,74 b

Tabela 14 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para murchamento durante a armazenagem refrigerada comparando as velocidades utilizadas, com nível de significância de 5%.

Velocidades	Médias
Menor	4,51 a
Sem velocidade	3,89 a
Maior	3,71 b
Média	3,60 b

A Tabela 15 mostra a interação caixa x velocidade para o murchamento e observamos que os tratamentos que apresentaram menor murchamento foram as caixas branca e preta ambas submetidas a menor velocidade, não apresentando diferença significativa entre si, sendo valores equivalentes das perdas de peso, onde comparando as três velocidades estudadas foi a que menos favoreceu a perda de água de produto.

O tratamento caixa preta x sem velocidade também apresentou produto pouco murcho no 12<sup>o</sup> dia de armazenagem, porém este tratamento foi descartado no 16<sup>o</sup> dia de armazenagem não apresentando aspectos favoráveis para comercialização.

Tabela 15 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para murchamento durante a armazenagem refrigerada comparando as interações caixas - velocidades, com nível de significância de 5%.

Interação caixa - velocidade	Médias
Branca – menor velocidade	4,58 a
Preta - menor velocidade	4,44 a b
Preta – sem velocidade	4,14 b c
Preta - maior velocidade	4,00 c d
Branca – velocidade média	3,78 d
Branca – sem velocidade	3,64 d e
Branca – maior velocidade	3,42 d e
Preta – velocidade média	3,39 e

Observa-se através da Figura 26 que os tratamentos submetidos ao resfriamento rápido com ar forçado utilizando a menor velocidade ( $0,83\text{m.s}^{-1}$ ), apresentaram um pequeno aumento no murchamento, se mantendo até o 20º dia entre nenhum e moderado, contrariando os dados de perda de peso, onde estes tratamentos foram os que mais sofreram com este fator, e após este dia, o tratamento branca x sem perfuração apresentou-se com forte aumento neste parâmetro, que provavelmente foi provocado pela análise sensorial de uma amostra não representativa. Pode-se considerar que os tratamentos submetidos a esta velocidade se apresentaram com os melhores valores quando analisamos os dados para o murchamento.

Quando não foi utilizado o sistema de resfriamento rápido por ar forçado, os tratamentos apresentaram um aumento gradual do murchamento, conservando-se durante o período de armazenagem entre nenhum e moderado, apresentando diferença entre os filmes aplicados onde as alfaces não embaladas sofreram mais, atingindo no 16º dia valores de murchamento moderado e demais fatores implicando no descarte das amostras, permanecendo somente o tratamento branca x sem perfuração que em concordância com os demais parâmetros apresentava-se ainda com boas condições para a comercialização até o 20º dia de armazenamento.

Os dados analisados para este parâmetro apresentaram oscilações devido a análise sensorial realizada e a amostra que foi submetida para à análise.

Tabela 16 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para murchamento durante a armazenagem refrigerada comparando as interações entre as caixas, os filmes plásticos e as velocidades utilizadas, com nível de significância de 5%.

Interação caixa – filme – velocidade	Médias
Preta - menor velocidade – filme liso	4,75 a
Branca - menor velocidade – filme liso	4,67 a b
Branca -menor velocidade– filme perfurado	4,58 a b c
Branca – menor velocidade – sem filme	4,5 a b c
Branca – sem velocidade – filme liso	4,5 a b c
Preta – sem velocidade – sem filme	4,42 a b c d
Preta – menor velocidade – sem filme	4,33 a b c d
Preta - maior velocidade – filme liso	4,33 a b c d
Preta – menor velocidade –filme perfurado	4,25 a b c d
Branca – velocidade média – filme liso	4,17 a b c d
Preta – sem velocidade – filme liso	4,17 a b c d
Preta - maior velocidade – sem filme	3,92 b c d e
Branca - maior velocidade – filme liso	3,92 b c d e
Preta – sem velocidade – filme perfurado	3,83 c d e
Preta – velocidade média –filme perfurado	3,75 c d e f
Preta - maior velocidade – filme perfurado	3,75 c d e f
Branca -velocidade média– filme perfurado	3,58 d e f g
Branca – velocidade média – sem filme	3,58 d e f g
Preta - velocidade média – filme liso	3,5 e f g h
Branca – maior velocidade – sem filme	3,42 f g h i
Branca– sem velocidade – filme perfurado	3,25 g h i
Branca– sem velocidade – sem filme	3,12 h i
Branca –maior velocidade–filme perfurado	2,92 i
Preta – velocidade média – sem filme	2,92 i

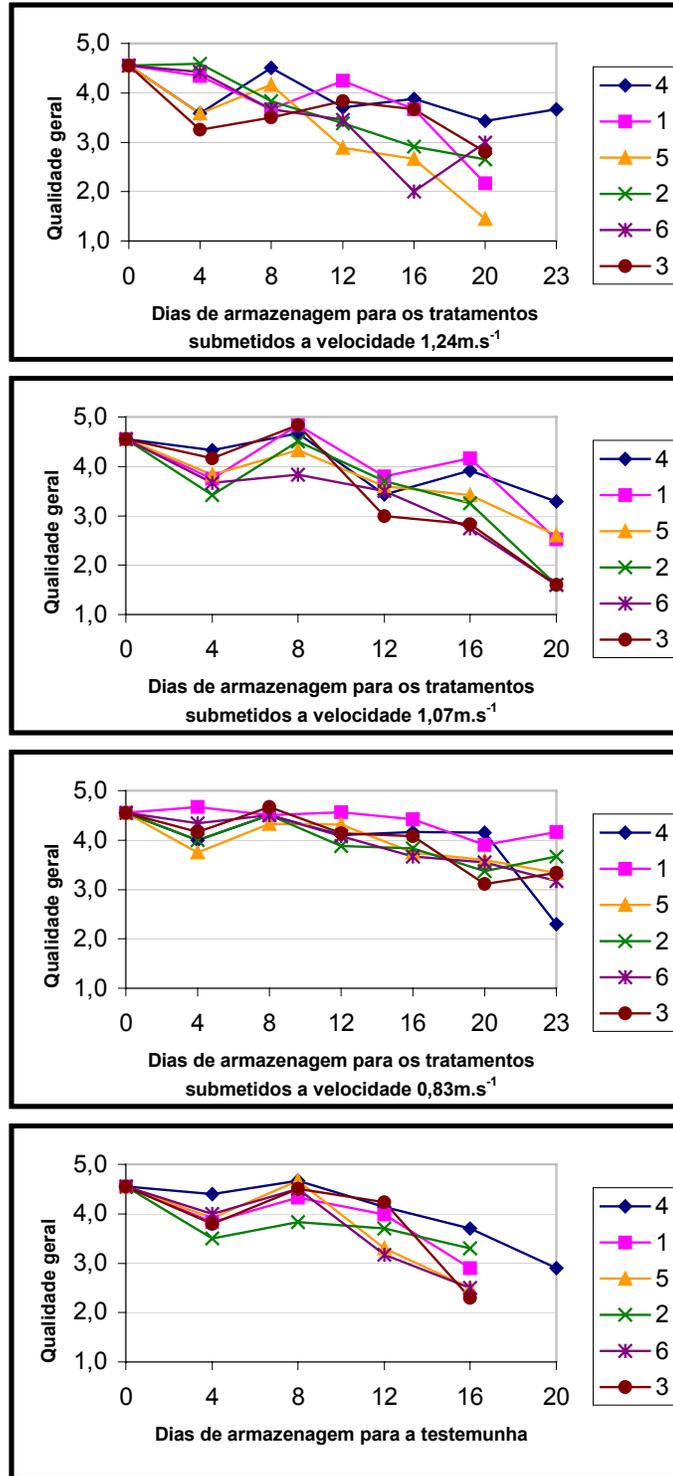
### 5.3.2 Qualidade Geral

Pela análise sensorial observa-se que a qualidade geral (Figura 27) em todos os tratamentos deterioraram-se no decorrer do armazenamento. Isto ocorreu devido à perda de água que o produto sofreu durante o resfriamento rápido e armazenamento.

Observa-se também que os tratamentos submetidos ao resfriamento rápido com a maior velocidade ( $1,24\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), apresentaram uma queda gradual durante toda a armazenagem e somente no tratamento branca x filme sem perfuração as alfaces apresentaram uma qualidade boa para comercialização permanecendo assim até o 23<sup>o</sup> dia de armazenamento. Os demais tratamentos se mostraram parecidos com uma duração de 20 dias no qual suas qualidades se mostraram inferior para comercialização.

Os tratamentos que foram submetido ao resfriamento rápido utilizando a velocidade média ( $1,07\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), também mostraram uma queda gradual para a qualidade, porém todos no 20<sup>o</sup> dia apresentavam uma qualidade inferior para serem comercializados.

Quando foi utilizada a menor velocidade ( $0,83\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), observa-se que durante toda a armazenagem todos os tratamentos mantiveram a qualidade boa até o 23<sup>o</sup> dia, ressaltando apenas o tratamento 4 que no 23<sup>o</sup> dia apresentou valor inferior aos demais. Isto provavelmente foi provocado devido à alguma forma de podridão na amostra analisada a qual possivelmente não representa o conjunto.



1 – caixa A com filme plástico liso; 2 – caixa A com filme plástico perfurado; 3 – caixa A sem filme plástico; 4 – caixa B com filme plástico liso; 5 – caixa B com filme plástico perfurado; 6 – caixa B sem filme plástico.

Figura 27 - Qualidade geral das alfices durante o armazenamento para determinação da vida útil.

Observando os tratamentos que não sofreram o resfriamento rápido com ar forçado (testemunha), verifica-se que houve também queda gradual na qualidade, porém estas se mostraram com qualidade boa para comercialização até o 16<sup>o</sup> dia, reduzindo em média 5 dias no tempo de comercialização quando comparados com resfriamento rápido por ar forçado indo ao encontro com MACKINNON et al. (1991), quando trabalharam com resfriamento rápido com ar forçado para espinafre e detectaram que o tratamento controle onde não foi aplicado o resfriamento apresentou excessiva deterioração no produto.

Pode-se observar também que em todos os tratamentos onde não foi utilizado o filme plástico, seus valores sempre se mostraram inferiores aos demais tratamentos, salientando a necessidade do uso dos filmes para a proteção do produto.

A análise estatística vem confirmar e através da Tabela 17 que os filmes utilizados nos tratamentos apresentaram diferença significativa entre si ao nível de 5% de probabilidade e que os tratamentos embalados com o filme plástico sem perfuração, no 12<sup>o</sup> dia de armazenagem se mostraram como os melhores, mantendo a qualidade do produto e que as alfaces embaladas com o filme perfurado ou não embaladas não se mostraram significativamente diferentes e a qualidade do produto foi afetada.

Tabela 17 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para qualidade geral durante a armazenagem refrigerada comparando os filmes utilizados, com nível de significância de 5%.

Filmes plásticos	Médias
Sem perfuração	4,02 a
Sem filme	3,75 b
Perfurado	3,54 b

Na Tabela 18 verifica-se que as caixas, para a qualidade geral do produto, apresentou diferença significativa onde a caixa preta se mostrou como a melhor caixa plástica para acondicionamento de alfaces que sofrerão o processo de resfriamento rápido com ar forçado, conservando a qualidade geral dos pés de alface até o 12<sup>o</sup> dia de armazenagem entre boa e excelente.

Tabela 18 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para qualidade geral durante a armazenagem refrigerada comparando as caixas utilizadas, com nível de significância de 5%.

Caixa	Médias
Preta	3,88 a
Branca	3,67 b

Como para a perda de peso, a velocidade maior e a velocidade média influenciaram na degradação da qualidade do produto, apresentando os tratamentos aí submetidos os menores valores para a qualidade geral do produto no 12<sup>o</sup> dia de armazenagem (Tabela 19), porém a vida útil destes tratamentos foi maior quando comparados com os tratamentos submetidos ao resfriamento em câmara, sendo que

para estes a qualidade do produto após esta data decresceu acentuadamente, sendo descartados no 16º dia de armazenagem.

Tabela 19 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para qualidade geral durante a armazenagem refrigerada comparando as velocidades utilizadas, com nível de significância de 5%.

Velocidades	Médias
Menor	4,51 a
Sem velocidade	3,89 a
Maior	3,71 b
Média	3,60 b

A Tabela 20 mostra a interação entre as caixas e as velocidades utilizadas e vem confirmar os dados apresentados na Tabela 18 e Tabela 19.

Tabela 20 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para qualidade geral durante a armazenagem refrigerada comparando as interações caixas - velocidades, com nível de significância de 5%.

Interação caixa - velocidade	Médias
Branca – menor velocidade	4,25 a
Preta - menor velocidade	4,14 a b
Preta – sem velocidade	3,97 a b
Preta - maior velocidade	3,94 a b
Branca – velocidade média	3,56 c
Branca – sem velocidade	3,50 c
Preta – velocidade média	3,44 c
Branca – maior velocidade	3,36 c

### 5.3.3 Coloração

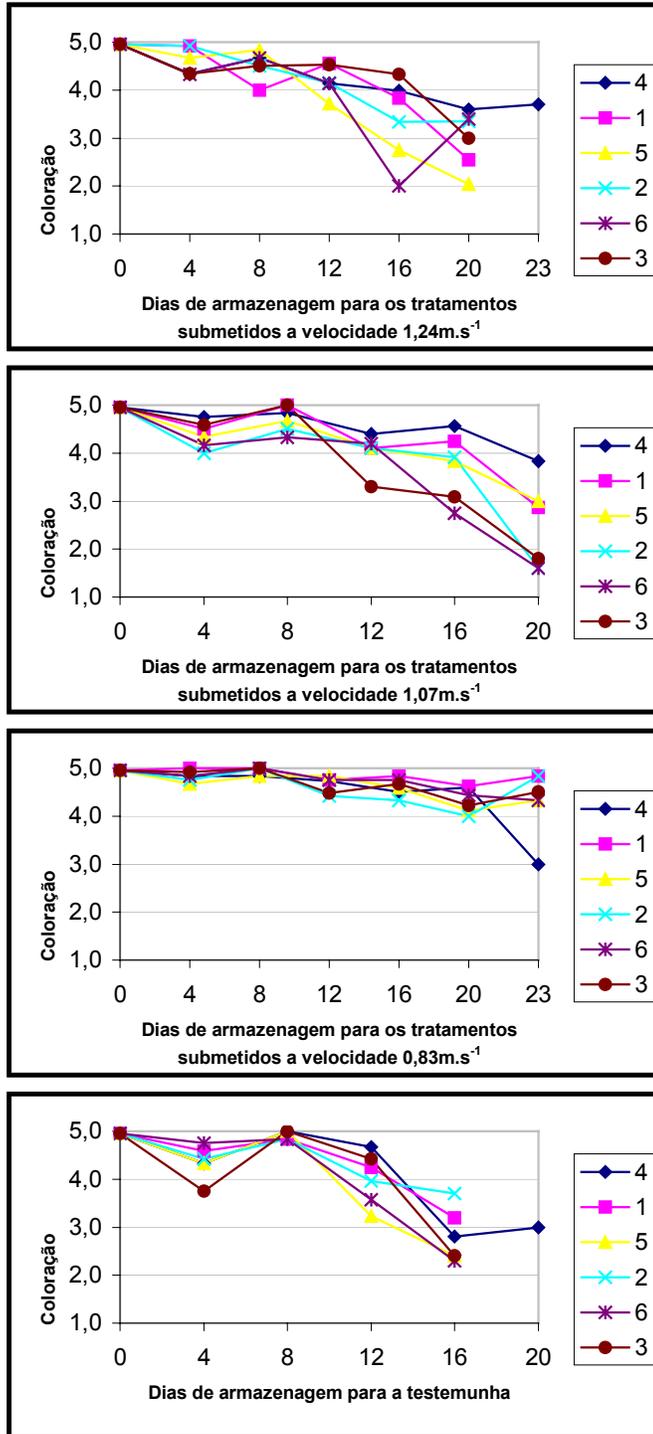
Com exceção dos tratamentos submetidos ao resfriamento com menor velocidade, a partir do 4º dia verificou-se uma alteração da coloração (Figura 28), tendendo a modificação intensa da coloração.

Os tratamentos pré-resfriados com a maior velocidade ( $1,24\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) mantiveram a cor do produto até o 12º dia com uma leve modificação, passando aí a um decréscimo maior, chegando a intensa modificação para o tratamento caixa branca filme perfurado e os demais numa modificação moderada.

Os tratamentos submetidos a velocidade média ( $1,07\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), seguiram a mesma linha, com exceção do tratamento caixa preta x sem filme que mostrou uma alteração da cor mais acentuada a partir do 8º dia, atingindo no final do período de armazenamento juntamente com os tratamentos caixa branca x sem filme e caixa preta x filme perfurado que apresentaram uma coloração intensamente modificada.

Para os tratamentos com a menor velocidade ( $0,83\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), a coloração se manteve estável durante o período de armazenamento, atingindo ao 23º dia uma coloração entre normal e levemente modificada.

Nos tratamentos que não sofreram o resfriamento rápido (testemunha), a coloração manteve-se constante até o final do período de armazenamento (16º dia) entre normal e moderada modificação.



1 – caixa A com filme plástico liso; 2 – caixa A com filme plástico perfurado; 3 – caixa A sem filme plástico; 4 – caixa B com filme plástico liso; 5 – caixa B com filme plástico perfurado; 6 – caixa B sem filme plástico.

Figura 28 - Coloração das alfices durante o armazenamento para determinação da vida útil.

Tabela 21 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para coloração durante a armazenagem refrigerada comparando os filmes utilizados, com nível de significância de 5%.

Filmes plásticos	Médias
Sem perfuração	4,50 a
Sem filme	4,20 b
Perfurado	4,03 b

Houve diferença significativa a nível de 5% de probabilidade entre os filmes plásticos, apresentando-se como melhor o filme sem perfuração, pois no 12<sup>o</sup> dia mostrou o maior valor para a coloração (Tabela 21).

Em relação a velocidade (Tabela 22), os tratamentos submetidos ao resfriamento rápido utilizando a menor velocidade foram os que apresentaram os maiores valores para a coloração quando analisada sensorialmente até o 12<sup>o</sup> dia de armazenamento e que aqueles somente resfriados em câmara de armazenagem apresentaram os menores valores, mostrando as alfaces submetidas ao resfriamento rápido mantiveram sua coloração entre normal e levemente modificada até o 12<sup>o</sup> dia.

Tabela 22 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para coloração durante a armazenagem refrigerada comparando as velocidades utilizadas, com nível de significância de 5%.

Velocidades	Médias
Menor	4,65 a
Maior	4,26 b
Média	4,04 b
Sem velocidade	4,01 b

Tabela 23 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para coloração durante a armazenagem refrigerada comparando as interações caixas - velocidades, com nível de significância de 5%.

Interação caixa - velocidade	Médias
Branca – menor velocidade	4,78 a
Preta - menor velocidade	4,53 a b
Preta – maior velocidade	4,53 a b c
Branca – média velocidade	4,28 b c
Preta – sem velocidade	4,19 b c d
Branca – maior velocidade	4,00 c d
Branca – sem velocidade	3,83 d
Preta – velocidade média	3,81 d

A Tabela 23 mostra que para interação da caixa com a velocidade, a caixa branca submetida ao resfriamento rápido utilizando a menor velocidade e a caixa preta com a menor e a maior velocidade não mostraram diferença entre si, sendo que para a caixa preta tanto a maior quanto a menor velocidade não apresenta diferença significativa entre si a nível de 5% de probabilidade. Já para a caixa branca, as velocidades interferiram na coloração mostrando que quando aplicada a menor velocidade ela se comporta de maneira mais favorável à coloração que as demais velocidades e que para a caixa preta com a velocidade média proporcionou a degradação da cor das alfaces até o 12<sup>o</sup> dia de armazenagem.

#### 5.3.4 Injúrias nas folhas

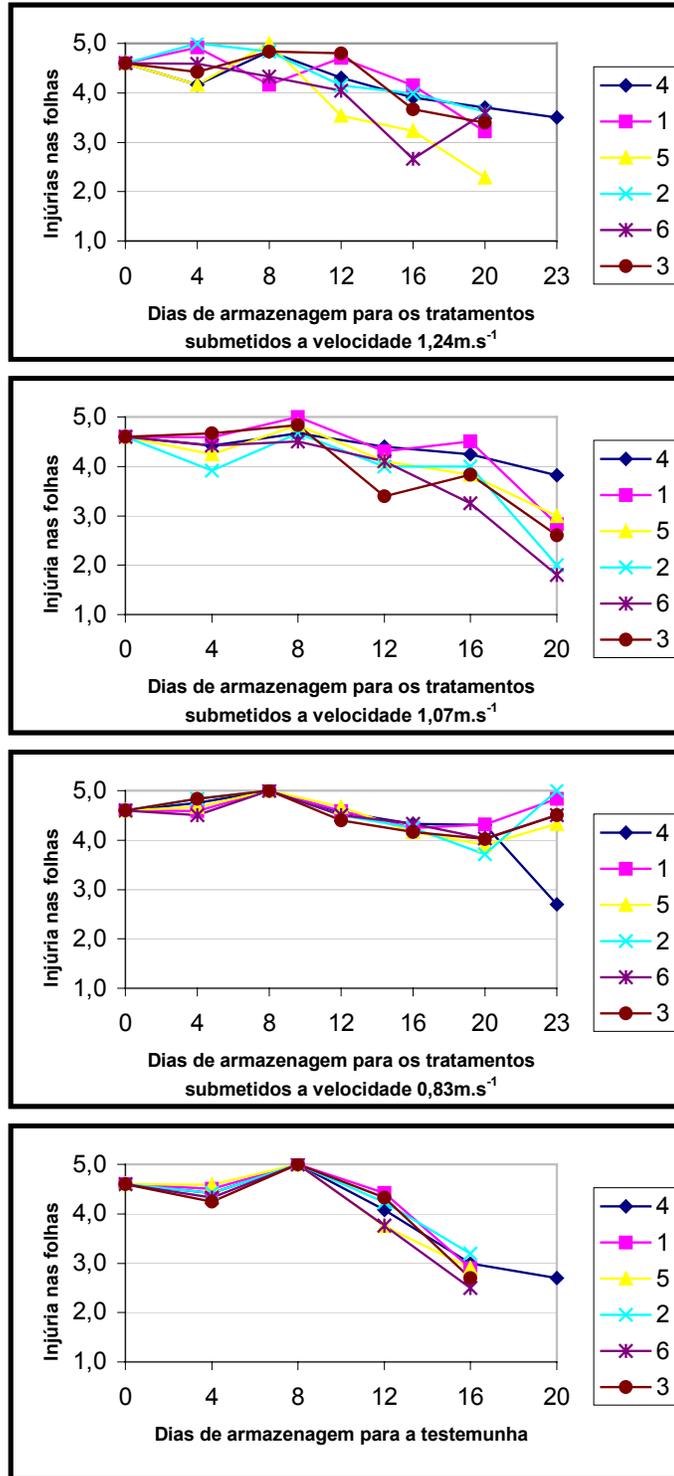
As injúrias nas folhas aqui avaliadas, foram as injúrias que possivelmente foram causadas pela aplicação do resfriamento rápido e pelo frio. Mas através da Figura 29 pode-se observar que estes dois fatores não acarretaram grandes perdas para o parâmetro, pois em quase todos os tratamentos ele se manteve constante ou com um leve declínio.

Os tratamentos mais afetados foram os submetidos ao resfriamento rápido com utilização da maior velocidade ( $1,24\text{m.s}^{-1}$ ) que apresentou uma queda mais acentuada a partir do 12º dia de armazenamento e destes destacam-se os tratamentos caixa branca x filme perfurado e caixa branca x sem filme que apresentaram mais injúrias a partir do 16º dia de armazenamento atingindo valores de 50% das folhas danificadas.

Analisando os tratamentos submetidos a velocidade média ( $1,07\text{m.s}^{-1}$ ), as injúrias se tornaram mais evidentes a partir do 16º dia de armazenamento mostrando-se com valores os quais evidenciam as injúrias em 50 a 70% das folhas, exercendo uma interferência maior do que os tratamentos anteriores.

Para os tratamentos submetidos a menor velocidade ( $0,83\text{m.s}^{-1}$ ) e nos quais não foi utilizado o resfriamento rápido (testemunha), as injúrias começaram aparecer a partir do 8º dia, porém não mais que em 30% das folhas.

Através da análise de variância verificou-se que o fator que interferiu na injúria a nível de 5% de probabilidade foi a velocidade e a interação foi da caixa com a velocidade.



1 – caixa A com filme plástico liso; 2 – caixa A com filme plástico perfurado; 3 – caixa A sem filme plástico; 4 – caixa B com filme plástico liso; 5 – caixa B com filme plástico perfurado; 6 – caixa B sem filme plástico.

Figura 29 - Injúrias nas folhas de alfaces durante o armazenamento para determinação da vida útil.

Tabela 24 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para injúrias nas folhas durante a armazenagem refrigerada comparando as velocidades utilizadas, com nível de significância de 5%.

Velocidades	Médias
Menor	4,51 a
Maior	4,22 b
Média	4,15 b
Sem velocidade	4,08 b

A menor velocidade se apresentou como a melhor em relação às injúrias nas folhas, apresentando, no 12<sup>o</sup> dia de armazenamento, valor entre ausente e presente em menos de 30% das folhas. Para as demais velocidades, não houve diferença significativa entre si a nível de 5% de probabilidade, sendo que também apresentaram valores de injúria nas folhas presente em menos de 30% das folhas para o mesmo dia (Tabela 24).

Para as interações entre a caixa plástica utilizada e a velocidade empregada, verifica-se através da (Tabela 25) que o tratamento caixa branca – menor velocidade apresentou-se como o que menos proporcionou injúrias nas folhas, porém este não difere significativamente dos tratamentos caixa preta – maior velocidade, caixa preta – menor velocidade, caixa branca – velocidade média e caixa preta – sem velocidade. As injúrias nas folhas foram maiores nos tratamentos caixa preta – velocidade média, caixa branca – maior velocidade e caixa branca – sem velocidade, não diferindo entre si e mostrando valores de injúrias nas folhas entre presente em menos de 30% a 50% das folhas. Podemos considerar então que os tratamentos empregados não afetaram o aparecimento de injúrias nas folhas de alface.

Tabela 25 - Análise do Teste de Fisher.LSD, para injúrias nas folhas durante a armazenagem refrigerada comparando as interações caixas - velocidades, com nível de significância de 5%.

Interação caixa - velocidade	Médias
Branca – menor velocidade	4,56 a
Preta – maior velocidade	4,50 a
Preta – menor velocidade	4,47 a b
Branca – média velocidade	4,31 a b
Preta – sem velocidade	4,31 a b
Preta – velocidade média	4,00 b c
Branca – maior velocidade	3,94 c
Branca – sem velocidade	3,86 c

## **6 CONCLUSÕES**

Com a realização de todos os ensaios e através da análise dos dados coletados pôde-se concluir que:

- A utilização do resfriamento rápido com ar forçado aumentou significativamente a vida de prateleira de alface;
- As diferentes velocidades utilizadas mostraram-se equivalentes em relação ao tempo do resfriamento, mas a menor velocidade proporcionou uma vida de prateleira maior para as alfaces;
- Observou-se que o filme plástico como forma de proteção do produto é necessário, apesar de ser um obstáculo para o processo de resfriamento rápido com ar forçado, mostraram-se como redutor da deterioração das alfaces;
- Dos filmes plásticos estudados, o sem perfuração conservou melhor a alface, conseqüentemente interferiu na perda de peso do produto;

- As caixas plásticas utilizadas não mostraram diferença no processo de conservação pós-colheita de alface pois a área de abertura de ambas é equivalente.

## **7 SUGESTÕES**

Como sugestão de trabalhos futuros propõe-se que seja realizado experimentos com a utilização das novas caixas plásticas da Embrapa para verificação do resfriamento rápido com ar forçado com esta embalagem e que seja aplicado o sistema de umidificação mantendo assim uma umidade relativa da câmara em níveis recomendados pela literatura.

Propõe-se também que novos experimentos sejam realizados para a verificação dos tempo de resfriamento até que os tratamentos utilizando filme plástico sem perfuração atinjam a temperatura desejada, assim verificar-se-á a confiabilidade das equações. E para a verificação da perda de peso durante o resfriamento rápido com ar forçado sugere-se a não lavagem do produto antes do processo.

Outra sugestão seria a realização do resfriamento rápido com ar forçado sem a utilização dos filmes protetores e em seguida fazer o empacotamento do produto verificando a vida útil do produto.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO, M.R.A. **Pré-resfriamento a vácuo em hortaliças folhosas**. Campinas, 2000. 95p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP.

AHARONI, N. e BEN-YEHOSHUA, S. Delaying deterioration of romaine lettuce by vacuum cooling and modified atmosphere produced in polyethylene packages. **Journal of American Society Horticultural Science**,v.98, p.464-468, 1973.

ASHRAE. **Handbook**: Refrigeration, Systems and Applications. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc. 1998. cap.14. 9 p.

ASHRAE. **Handbook**: Fundamentals. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc. 1997. cap.5. 16 p.

- BAIRD, C.D., GAFFNEY, P.E., TALBOT, M.T. Design criteria for efficient and cost effective forced air cooling systems for fruits and vegetables. **ASHRAE Transactions**, USA, v. 94 p. 1434 – 1454, 1988.
- BANZATTO, D.A., KRONKA, S.N.do. Experimentação agrícola. Jaboticabal. FUNEP. 1989. 247p.
- BARLETT, D. Practical temperature control and cooling methods in relation to crops preservation. **Progress in Food and Nutrition Science**, v.4, n.3-4, p.47-53, 1980.
- BENNETT, A.H. Principles and equipment for precooling fruits and vegetables. ASHRAE Symposium Bulletin SF-4.70, U.S. Department of Agriculture, USA, 1971.
- BEEK, G. Practical applications of transpiration coefficients of horticultural produce. **ASHRAE Transactions**, v.91, part B, p.708-724, 1985.
- BELZILE, G. Essai d'un Hydro-Refroidisseur par le Vide Construit au Québec. Projet 24-365 217 07011 do Ministério da Agricultura do Canadá. 1996.
- BLEINROTH, E.W, CASTRO, J.V, SIGRIST, J.M.M. Conservação de hortaliças por refrigeração e agente químico. **Boletim ITAL**, v.22, n.1, p.145-61, 1985.
- BLEINROTH, E.W. *et al.* **Tecnologia de pós-colheita de frutas tropicais**. Campinas: ITAL. 1992. 203p.
- BORDIN, M.R. Embalagem para Frutas e Hortaliças. In: UNICAMP, **2º Curso de Atualização em Tecnologia de Resfriamento de Frutas e Hortaliças**. Campinas, 1998, p.19-27.
- CALBO, G.A. Alface. INTERNET [www.enph.embrapa.br](http://www.enph.embrapa.br), 1999.

- CASTRO, J.V. de. Colheita de hortaliças e determinação do ponto de colheita. In: **Curso de Pós-Colheita e Armazenagem de Hortaliças**. Campinas: ITAL, 1982. p.1.1-1.28.
- CHITARRA, M.I.F., CHITARRA, A.B. Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. Lavras: FAEPE 1990. p.93-102.
- CHRISTOFOLETTI, L. Perdas na Lavoura. **Correio Popular**, Campinas, 8 nov. 1997. Agricultura, p.1-4.
- CORTEZ, L.A.B., VIGNEAULT, C., NEVES F<sup>O</sup>, L.C. Análise Econômica Preliminar de uma Unidade de Resfriamento a Vácuo de Alface. In: **1º Curso de Atualização em Tecnologia de Resfriamento de Frutas e Hortaliças**. Campinas: UNICAMP, 1997, p.1-9.
- EDEOGU, I., FEDDES, J., LEONARD, J. Comparison Between Vertical and Horizontal Air Flow for Fruit and Vegetable Precooling. **Canadian-Agricultural-Engineering** Edmonton, Canadá. v.39, n.2, p.107. 1997.
- EMBRAPA. **Perdas na Agropecuária Brasileira**. Centro de Pesquisas. Relatório preliminar. Ministério da Agricultura , Abastecimento e Reforma Agrária. maio. 1993.
- FAO. **“Production Yearbook”**. Food and Agriculture Organization. V.44. FAO Statistics. Series n.99 Roma. 1991.
- FNP **Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria & Comércio.2000. p.149
- FILGUEIRA, F.A.R. **Manual de Olericultura**: cultura e comercialização de hortaliças. 2ª edição. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1982. p.77-86.

- FORNAGUERA, J.C. Experiencias en cosecha, postcosecha y normalizacion de frutas y verduras frescas en un pais en via de desarrollo. In: Procedimentos de la Conferencia Internacional, **Technologias de Cosecha y Postcosecha de Frutas y Hortalizas**. Guanajuato, México. 1995. p.73-80
- FOURNIER,P., VANDIEVOET, A.C. La pré-réfrigéation rapide par le vide à la convergence des tests aéronautiques et de l'agro-alimentaire. **Industries Alimentaires et Agricoles**. 1983, p. 691-695.
- FRASER, H.W. Forced-Air Rapid Cooling of Fresh Ontario Fruits and Vegetables. Ministry of Agriculture. Ontario. Canada. Order nº 91-070. October. 1991. Agdex 202/736. 4p.
- GAN, S. e AMASINO, R.M. Marking sense of senescence. **Plant Physiology**. v.113, p.313-19, 1997.
- GAFFNEY, J.J., BAIRD, C.D., CHAU, K.V. Influence of airflow rate, respiration, evaporative cooling, and other factors affecting weght loss calculations for fruit and vegetables. **ASHRAE Transactions**. v. 91, p. 690 – 707, 1985.
- GAST, K.L.B., FLORES R. **Precooling produce – fruits and vegetables. Postharvest Management of Commercial Horticultural Crops**. Cooperative Extension Service. Kansas State University. Manhattan, Kansas. 1991.
- GONÇALVES, J.S. e PEREZ, L.H. “Gastos do consumidor paulistano com alimentação e com frutas na década de planos econômicos.” *Informações Econômicas*, SP, 1996, 26(4) p.69-73.
- GORENSTEIN, R. Comercialização – depois da colheita, mais cuidados. In: **Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria & Comércio. 2000. p.24-26.

- GUEDES, L.B.R., MADI, .F.C. Embalagens para Frutas e Hortaliças. In: ITAL, **Curso de Transporte Refrigerado de Frutas e Hortaliças**. Campinas, 1983, p. 90-106.
- GULL, D.D. **Lettuce** - Handling Florida Vegetables. Vegetable Crops Department. IFAS. University of Florida Gainesville, FL. 32611. S.d.
- HASS, E., FELSENSTEIN, G. SHITZER, A., MANOR, G. Factors affecting resistance to air flow through packed fresh fruit. **ASHRAE Transactions**, v. 82, part 2, p. 548 – 554, 1976.
- HASS, E., GUR, G. Factors affeting the cooling rate of lettuce in vacuum cooling installations. **International Journal of Refrigeration**, v.10, n.2, p.82-86, March 1987.
- HARDENBURG, R. E., WATADA, A. E., WANG, C. Y. **The commercial storage of fruits, vegetables and florist and nursery stocks**. Washington: Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 1986. 136p. (Agricultural Handbook Number 66)
- KADER, A.A. Postharvest technology of horticultural crops. 2.ed. Califórnia: University of California, Division of Agriculture and Natural Resources. 1992. p.56
- MACKINNON, I.R. Heat and Mass Transfer of Fresh Broccoli, Leaf Lettuce, Mushrooms and Sweet Corn During Forced-Air Cooling. In: Dissertation-Abstracts-International. Canadá. 1994. -B; 54 (12) 6325 Order no. DANN84818, 233p.
- MACKINNON, I.R., PRANGE, R.K., LIDSTER, P.D. Forced air spinach precooler. **American Society of Agricultural Engineers**, v.7, n.5,. 1991.

- NEVES F<sup>o</sup>., L.C., CORTEZ, L.A.B. Alimentos e a cadeia do frio. **Revista Abrava**. Janeiro - Fevereiro. p. 26 – 33, 1997.
- NOGUEIRA, E. Comercialização – distribuição obriga atacado mudar. In: **Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria & Comércio. 2000. p. 30 - 32.
- SARGENT, S.A. Handling and cooling techniques for maintaining postharvest quality. In: **Vegetable Production Guide for Florida**. University of Florida. 1998. cap.17.
- SHAW, J., KUO, C. Vacuum precooling green onion and celery. **American Society of Agricultural Engineers**, December. p.15-18. 1987. Paper n<sup>o</sup> 87-5522.
- SHEWFELT, R.L. Postharvest treatment for extending the shelf life of fruit and vegetables. **Food Technology**, v. 40, n.5, 1986.
- SHOWALTER, R.K. Postharvest water loss control for vegetables. Vegetable Crops Fact Sheet. IFAS. University of Florida. Gainesville, Florida. S.d.
- SIGRIST, J.M.M. Preparo do produto a ser transportado: pré-resfriamento e paletização. In: **Curso de Transporte Refrigerado de Frutas e Hortaliças**. Campinas: ITAL, 1983, p. 77-89.
- SUDENE-ANCARPE. Aspectos de comercialização de alimentos da cidade de Recife. Convênio SUDENE-ANCARPE, Recife, 1971.
- UNESP RURAL. Horta com qualidade. **Revista Brasileira da Fundação de Estudos e Pesquisas em Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia**. n.15. 1999.
- VIDEIRA, J.C. A Salada que dá Lucros. Superhiper/Dezembro. 1997. p. 42-50.
- VIGNEAULT, C., GOYETTE, B. Fruit and vegetable precooling. **Training Seminar of the NB Fruit Growers Association** Inc. Fredericton, Canada, february, 1994.

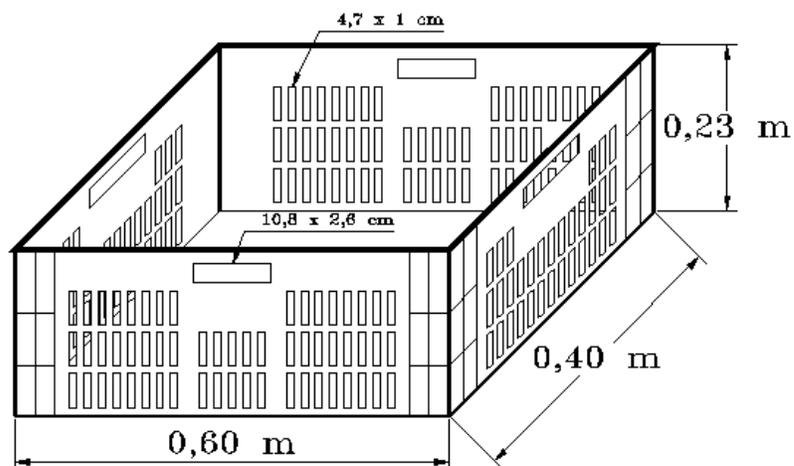
VIGNEAULT, C., GOYETTE, B., RAGHAVAN, G.S.V. Continuous flow liquid-ice system tested on broccoli. **Canadian Agricultural Engineering**, v. 37, n.3, 1995.

WANG, C.Y. **Chilling injury of horticultural crops**. CRC, 1990.

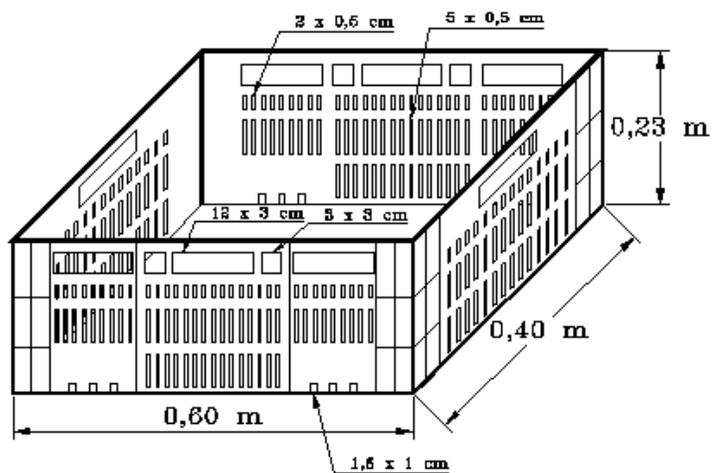
WERNER, R.A. Influência dos encargos financeiros no custo final da maçã frigorificada. *Anais...* **1º Encontro Técnico sobre Frigo Conservação**, 1980.

## 9 APÊNDICE A

### 9.1 Caixas plásticas e suas dimensões.



Caixa plástica modelo 327 da Empresa Jody Plast



Caixa plástica C-23 da Empresa Plastgrup

## 9.2 Caixas plásticas e os pontos de leitura da velocidade

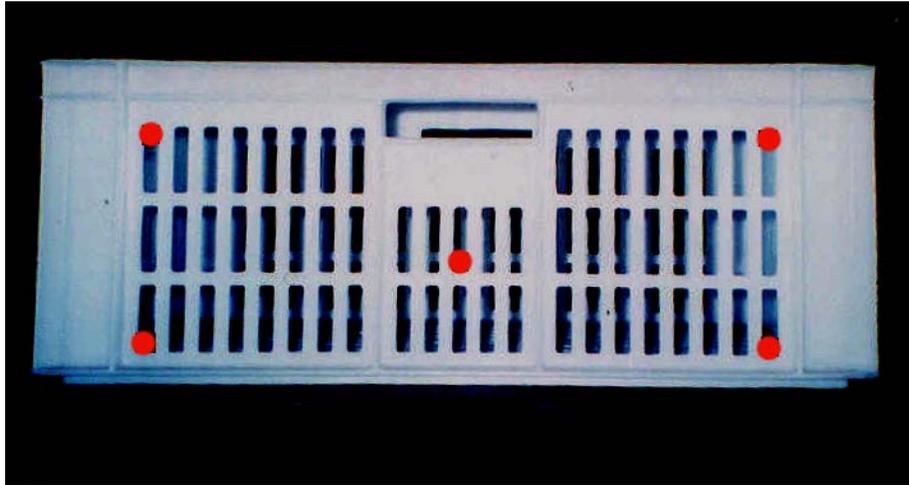


Figura 30 - Caixa plástica modelo 327 da Empresa Jody Plast com os pontos onde foi realizada a leitura dos pontos para a determinação das velocidades.

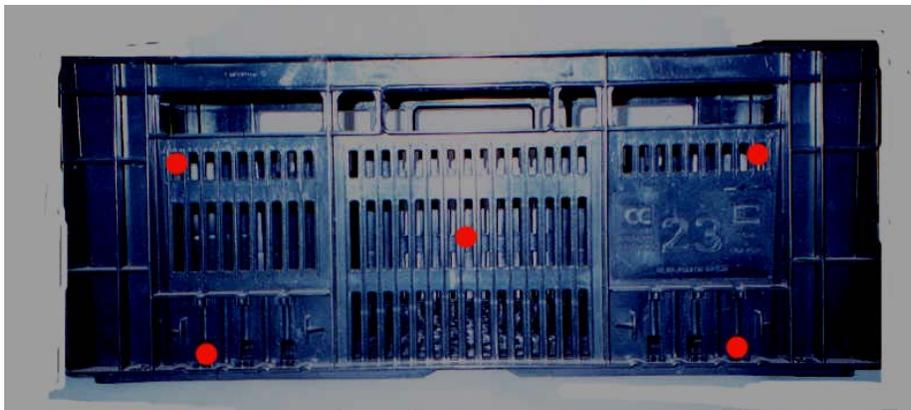


Figura 31 - Caixa plástica C-23 da Empresa Plastgrup com os pontos onde foi realizada a leitura dos pontos para a determinação das velocidades.

## 10 APÊNDICE B

### 10.1 Desempenho do ventilador

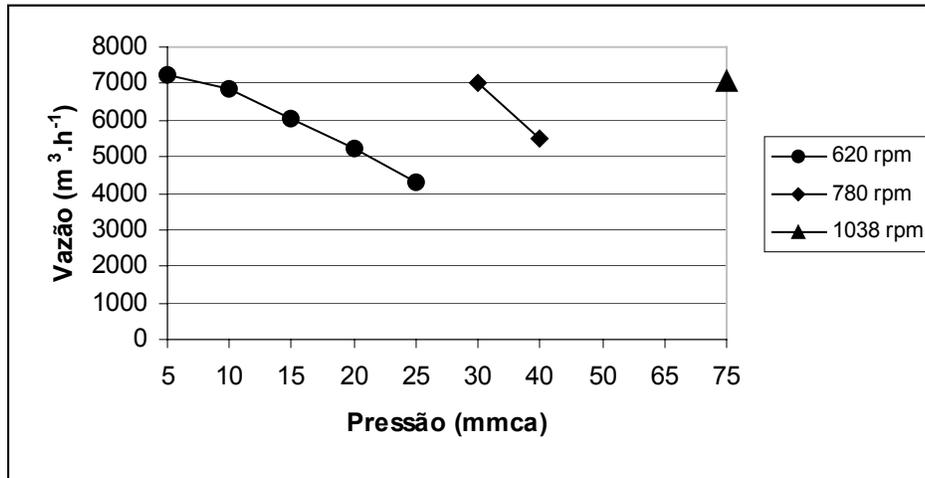


Figura 32 - Curva dos melhores pontos de trabalho para o desempenho do ventilador

Torin® BSC 457 - 243.

### 10.2 Dimensão do motor do ventilador

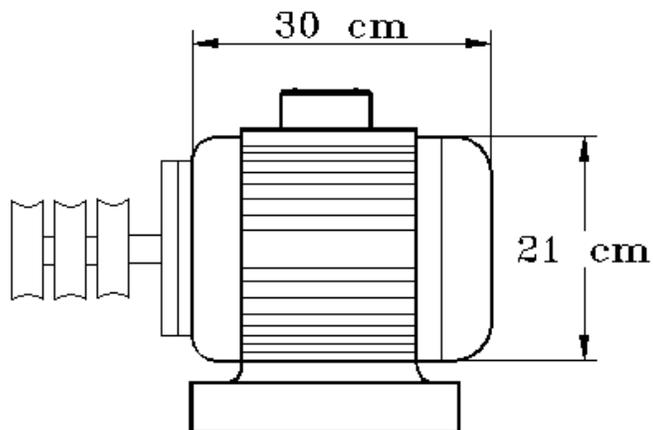


Figura 33 - Motor do ventilador utilizado no resfriamento rápido com ar forçado.

### 10.3 Dimensões do ventilador acoplado no túnel.

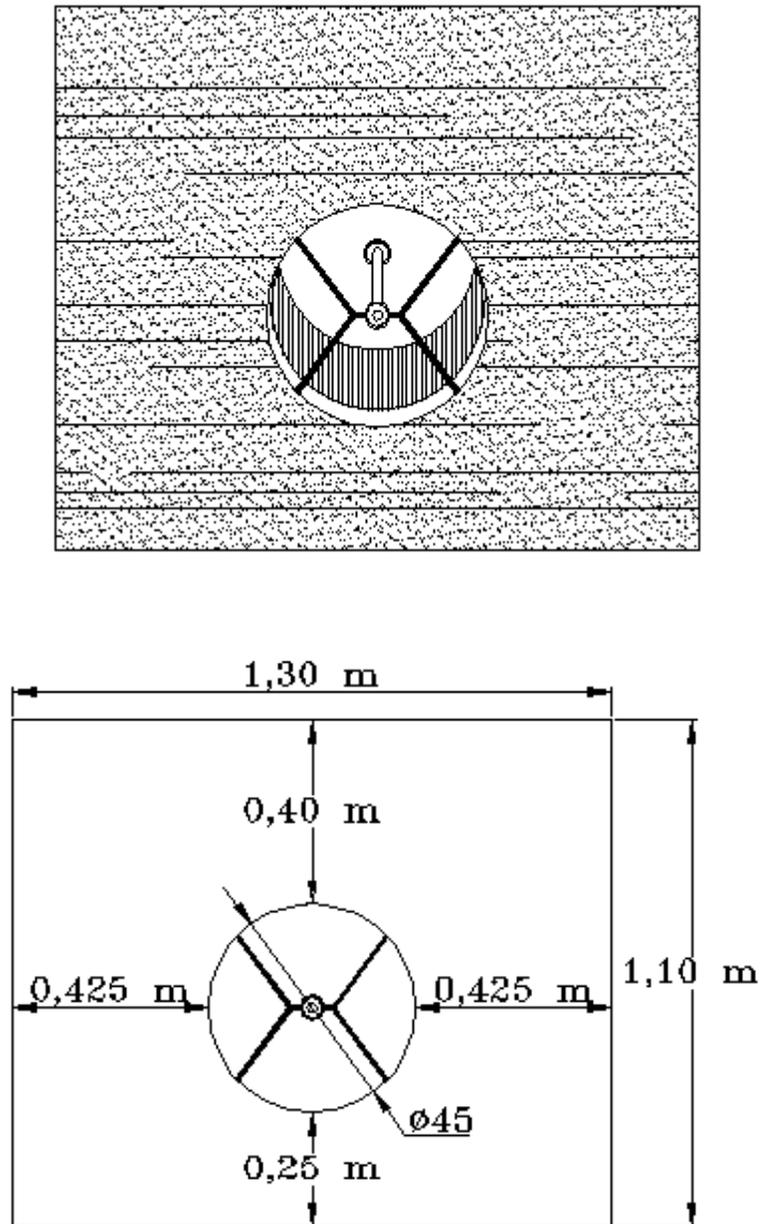


Figura 34 - Dimensões do túnel de resfriamento. Ventilador com o suporte de madeira.

## 11 APÊNDICE C

### 11.1 Dados de velocidade para cada tratamento.

Tabela 26 - Relação das velocidades referentes a cada tratamento.

CORREIA MAIOR		CORREIA MÉDIA		CORREIA MENOR	
	$V_m$ (m.s <sup>-1</sup> )		$V_m$ (m.s <sup>-1</sup> )		$V_m$ (m.s <sup>-1</sup> )
PS	0,79	PS	0,94	PS	1,07
BS	0,86	BS	1,12	BS	1,29
PL	0,77	PL	1,06	PL	1,23
BL	0,87	BL	1,17	BL	1,37
PP	0,8	PP	0,98	PP	1,15
BP	0,86	BP	1,14	BP	1,35
MÉDIA	0,83	MÉDIA	1,07	MÉDIA	1,24
DESVIOPADRÃO	0,04	DESVIOPADRÃO	0,09	DESVIOPADRÃO	0,12