

141

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS E AGRÍCOLA

AVALIAÇÃO ECONÔMICA DOS MÉTODOS
DE RESFRIAMENTO DE MAÇÃ

José Carlos Sabino Monteiro
Engenheiro Químico

ORIENTADOR

Dr. László Halász

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Com todo carinho

À meus pais. Que com trabalho e
sacrifício me têm
guiado pelo caminho
da vida.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. László Halász, pela orientação, disposição e amizade, oferecidas durante o desenvolvimento da tese.

Ao Centro de Pesquisas e Desenvolvimento, da Bahia, pelo apoio econômico.

À Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola pelas facilidades oferecidas na realização deste trabalho.

Ao Engº Lincoln de Camargo N. Filho pelas valiosas sugestões e colaboração.

Ao Engº Luiz Alberto dos Santos pela inestimável colaboração no desenvolvimento deste trabalho.

À Cooperativa Agrícola de Cotia pela inequívoca colaboração prestada através de informações gentilmente cedidas que serviram de base para este trabalho.

Ao Departamento de Zootecnia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará pelo complemento financeiro durante boa parte deste curso.

E, finalmente, nossa gratidão a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a execução deste trabalho.

ÍNDICE GERAL

	Página
AGRADECIMENTOS.....	iii
ÍNDICE GERAL.....	iv
ÍNDICE DE TABELAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE APÊNDICES.....	vi
RESUMO.....	vii
SUMMARY.....	viii
NOMENCLATURA.....	ix
I - INTRODUÇÃO.....	1
II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
III - OBJETIVOS.....	12
IV - PROGRAMAÇÃO E SIMULAÇÃO.....	13
V - MÉTODOS.....	22
VI - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
VII - CONCLUSÕES.....	73
VIII - SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	74
IX - APÊNDICES.....	75
X - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	132

ÍNDICE DE TABELAS

	Página
Tabela 1: Resultados da Simulação - Abaixamento da <u>tem</u> peratura média da maçã em função do raio, <u>tem</u> po, velocidade e temperatura do ar.....	21
Tabela 2: Custos Financeiros e Amortizações - Método Convencional.....	39
Tabela 3: Custos Financeiros e Amortizações - Método Separado (Pré-Resfriamento à Água).....	46
Tabela 4: Custos Financeiros e Amortizações - Método Separado (Pré-Resfriamento a Ar).....	52
Tabela 5: Custos e Lucros - Método Convencional.....	68
Tabela 6: Custos e Lucros - Método Separado (Pré-Res <u>fr</u> friamento à Água).....	69
Tabela 7: Custos e Lucros - Método Separado (Pré-Res <u>fr</u> friamento a Ar).....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Disposição das Câmaras do Frigorífico.....	24
Figura 2: Abaixamento de Temperatura Média da Maçã em Função do Tempo e da Velocidade do Ar.....	56
Figura 3: Custos Totais - Velocidade do Ar no Túnel.....	59
Figura 4: Sistema Frigorífico (Método Separado).....	63
Figura 5: Túnel de Resfriamento à Água.....	65
Figura 6: Lucros - Anos.....	71
Figura 7: Vista Seccional do Túnel de Resfriamento a Ar..	78

ÍNDICE DE APÊNDICES

	Página
Apêndice A: Dimensionamento de um Túnel de Resfriamento a Ar.....	76
Apêndice B: Custo de Investimento do Túnel de Resfria- mento a Ar.....	88
Apêndice C: Custos Operacionais	
Método Convencional.....	93
Método Separado (Pré-Resfriamento à Água)....	104
Método Separado (Pré-Resfriamento a Ar).....	113
Apêndice D: Custo de Investimento das Câmaras Frigorífi- cas.....	123
Apêndice E: Determinação Experimental da Densidade e Teor de Umidade da Maçã.....	129

RESUMO

Dois métodos são utilizados hoje para a estocagem frigorífica da maçã: o método convencional e o método separado. Neste último, a maçã, antes de ser estocada, é pré-resfriada em um túnel de resfriamento à água ou a ar.

A elaboração deste trabalho constou dos seguintes passos:

- 1 - Contato com a Cooperativa Agrícola de Cotia que está interessada em construir um grande frigorífico para maçãs.
- 2 - Elaboração de um ante-projeto objetivando a realização de um frigorífico para maçã pelo método convencional.
- 3 - Recolhimento de dados sobre o pré-resfriamento da maçã em túnel de resfriamento à água na indústria brasileira.
- 4 - Programação de um modelo matemático em linguagem FORTRAN IV e simulação do pré-resfriamento da maçã em um túnel de resfriamento a ar, visando determinar o abaixamento da temperatura média em função do raio da maçã, do tempo, da velocidade e temperatura do ar.
- 5 - Elaboração de um ante-projeto de um frigorífico para maçã pelo método separado, utilizando água e ar respectivamente como meios de resfriamento no túnel.
- 6 - Comparação sob o ponto de vista econômico entre o método convencional e o método separado, não entrando em detalhes quanto a qualidade da maçã.

SUMMARY

Two methods are used for cold storage of apples: the conventional and the separated procedure. In the last mentioned method the apples before storage are conveyed through a tunnel cooled with water or air.

The present work involved the following steps:

- 1 - Consulting the Cooperativa Agrícola de Cotia which is interested in building large storage facilities for apples.
- 2 - A study of constructing a refrigerating installation for apples employing the conventional method.
- 3 - Data collection on precooling of apples by water, used in the Brazilian industry.
- 4 - Model programming in FORTRAN IV language and simulation of air precooling of apples in a tunnel in order to determine the decrease of mean temperature of apples in relation to their radius, and to the time, velocity and air temperature.
- 5 - Design of a refrigerating plant for apples by the separated method utilizing both water and air respectively as cooling media for the refrigerating tunnel.
- 6 - A comparison between the conventional and separated method, from the economical point of view, without evaluation of the quality of the product.

NOMENCLATURA

A	Área das paredes, m^2
A_E	Área dos evaporadores, m^2
A_L	Área longitudinal do túnel, m^2
Bi_x	Número de Biot na direção x
Bi_y	" " " " " y
Bi_z	" " " " " z
C	Comprimento do carro, m
C_p	Calor específico, Kcal/Kg $^{\circ}$ C
C_t	Comprimento do túnel, m
CRF	Capital Recovery Factor
D	Diâmetro da maçã, m
d	Distância entre as bandejas do carro, m
H	Altura do carro, m
H_t	Altura do túnel, m
H_e	Entalpia do ar externo à câmara, Kcal/Kg
H_i	Entalpia do ar interno à câmara, Kcal/Kg
h	Coeficiente convectivo de transferência de calor, Kcal/hm 2 $^{\circ}$ C
h_e	Coeficiente externo de transferência de calor, Kcal/hm 2 $^{\circ}$ C
h_i	Coeficiente interno de transferência de calor, Kcal/hm 2 $^{\circ}$ C
K	Condutividade térmica da maçã, Kcal/hm $^{\circ}$ C
K_{AR}	Condutividade térmica do ar, Kcal/hm $^{\circ}$ C

K_i	Condutividade térmica do isolamento, Kcal/hm °C
K_p	Condutividade térmica da parede de alvenaria, Kcal/hm °C
K_s	Condutividade térmica dos sólidos (sugerida por Andersen para maçãs como sendo 0,15), Kcal/hm °C
K_{PAR}	Condutividade térmica do ar e maçã, Kcal/hm °C
K_w	Condutividade térmica da água, Kcal/hm °C
L	Largura do carro, m
L_t	Largura do túnel, m
M	Fração de umidade (porcentagem/100)
M_i	Massa na posição i, Kg
m	Massa, Kg
n	Número de trocas de ar por dia
N_{Bi}	Número de Biot, $N_{Bi} = \frac{hR}{K}$
P	Porcentagem de umidade
P_b	Pressão barométrica, mm Hg
ΔP_{em}	Perda de pressão estática devido os evaporadores e mudan ^{ças} de direção do ar, Kg/m ²
$\Delta P_{EST.}$	Perda de pressão estática total, Kg/m ²
Δp	Perda de pressão estática, Kg/m ²
ΔP_c	Perda de pressão estática nos carros, Kg/m ²
P_e	Potência no eixo, Kw
P_{ec}	Potência no eixo do compressor, Kw
P_m	Potência do motor, Kw
P_r	Potência da rede consumida, Kw
Q	Carga térmica, Kcal/dia
Q_A	Carga térmica adicional, Kcal/dia
Q_B	Carga térmica devido a bomba, Kcal/dia

Q_C	Carga térmica devido as caixas, Kcal/dia
Q_E	Carga térmica devido empilhadeira, Kcal/dia
Q_L	Carga térmica devido lâmpadas, Kcal/dia
Q_o	Capacidade frigorífica, Kcal/h
Q_p	Carga térmica devido a penetração de calor através das paredes, Kcal/dia
Q_{PE}	Carga térmica devido pessoas, Kcal/dia
Q_{PO}	Carga térmica devido a abertura de portas, Kcal/dia
Q_R	Carga térmica devido o resfriamento do produto, Kcal/dia
Q_{RC}	Carga térmica devido o resfriamento do produto e caixas, Kcal/dia
Q_{RM}	Calor de respiração da maçã, Kcal/hKg
Q_{RMt_i}	Calor de respiração na temperatura inicial, Kcal/hKg
Q_{RMt_f}	Calor de respiração na temperatura final, Kcal/hKg
Q_{RP}	Carga térmica devido a respiração do produto, Kcal/dia
Q_T	Carga térmica total, Kcal/dia
Q_{TR}	Carga térmica do túnel, Kcal/dia
Q_1	Carga térmica devido a transmissão de calor através das paredes no sentido Leste-Oeste, Kcal/dia
Q_2	Carga térmica devido a transmissão de calor através das paredes no sentido Norte-Sul, Kcal/dia
Q_3	Carga térmica devido a transmissão de calor através do piso, Kcal/dia
Q_4	Carga térmica devido a transmissão de calor através do teto, Kcal/dia
R	Raio da maçã, m
r	Posição radial na maçã, m

Δr	Incremento da posição radial na maçã, m
R_e	Número de Reynolds, $R_e = \frac{\rho D V_F}{\mu}$
T	Constante de tempo
$\bar{t}$	Temperatura média, °C
t	Temperatura, °C
$T_{b.u.}$	Temperatura de bulbo úmido, °C
T_c	Temperatura de condensação, °C
T_e	Temperatura de evaporação, °C
T_{ea}	Temperatura de entrada da água, °C
T_{sa}	Temperatura de saída da água, °C
t_o	Temperatura inicial, °C
t_l	Temperatura ambiente, °C
t_c	Temperatura da câmara, °C
$\bar{t}_e$	Temperatura média ambiente, °C
$\bar{t}_i$	Temperatura média inicial, °C
t_i	Temperatura na posição i, °C
$\bar{t}_f$	Temperatura média final, °C
Δt	Diferença de temperatura, °C
u^2	Número Adimensional
U	Coeficiente global de transferência de calor, Kcal/hm ² °C
v^2	Número Adimensional
V	Volume da câmara frigorífica, m ³
V_{ap}	Volume aparente, m ³
V_i	Volume intersticial, m ³
V_F	Velocidade do ar, m/h
V_r	Volume real, m ³
V_T	Volume do túnel, m ³

$\dot{V}_{Total}$	Vazão volumétrica total, m^3/h
$\dot{V}_v$	Vazão do ventilador, m^3/h
v	Volume específico do ar, m^3/Kg
x^2	Número Adimensional
X	Metade da dimensão da caixa na direção x, m
Y	Metade da dimensão da caixa na direção y, m
Z	Metade da dimensão da caixa na direção z, m

SÍMBOLOS EM LETRAS GREGAS

τ	Tempo, h
τ_R	Tempo de resfriamento, h
τ_{op}	Tempo de operação, hrs./dia
$\Delta\tau$	Incremento de tempo, h
f_i	Espessura do isolamento, m
f_p	Espessura da parede de alvenaria, m
θ	Diferença de temperatura, $\bar{t}_f - t_c$, $^{\circ}C$
θ_i	Diferença de temperatura, $\bar{t}_i - t_c$, $^{\circ}C$
α	Difusividade térmica da maçã, m^2/h
β_i	Raiz da equação transcendental
β_1	Primeira raiz da equação transcendental
μ	Viscosidade dinâmica, Kg/hm
ρ_p	Densidade do produto, Kg/m^3
ρ	Densidade, Kg/m^3
ρ_{ap}	Densidade aparente, Kg/m^3
ϵ	Porosidade
η	Eficiência

NOMENCLATURA UTILIZADA NO PROGRAMA

Vide pagina 20 .

I INTRODUÇÃO

A estocagem frigorífica das frutas possibilita prolongar o período, durante o qual estes importantes alimentos ficam disponíveis para o consumo. Além disso, dá também a possibilidade ao produtor para vender o seu produto, quando o mesmo já não se encontra em abundância no mercado, possibilitando assim alcançar um melhor preço de venda no mercado. Desta forma a estocagem frigorífica tem uma importância do ponto de vista de alimentação e de economia.

A estocagem frigorífica das frutas envolve duas etapas:

- o pré-resfriamento, durante o qual o produto deve atingir, no menor tempo possível, uma temperatura prescrita e
- a estocagem, na qual o produto será mantido continuamente na temperatura final do pré-resfriamento.

No Brasil, as frutas após a colheita são resfriadas e estocadas na mesma câmara frigorífica. Nestas câmaras a capacidade frigorífica e o movimento de ar são moderados, a embalagem em caixas também dificulta um bom contato entre produto e ar, trazendo como consequência um lento resfriamento das frutas. Em grandes câmaras, cujo enchimento precisa mais tempo (algumas semanas p.e. para maçã), os produtos frescos e quentes podem influenciar desfavoravelmente sobre os que foram colocados mais cedo e portanto já resfriados. Assim, a umidade gerada por esses produtos quentes frequentemente se condensa sobre a superfície das frutas estocadas, o que é indesejável devido ao favore

recimento da produção de bolor e desenvolvimento de apodrecimento.

Uma variação do procedimento empregado no Brasil, consta do pré-resfriamento da fruta feito em equipamento especial (túnel de resfriamento à água ou túnel de resfriamento a ar) fora da câmara de estocagem. Segundo a literatura, este procedimento traz como vantagens, a melhoria na qualidade do produto e um prolongamento do período de conservação das frutas.

Como a produção de frutas está em grande desenvolvimento no país, mesmo das espécies altamente adequadas para longa estocagem frigorífica (p.e. maçã), fizemos um estudo comparativo do ponto de vista de economia (custo de investimento e custos totais) sobre os dois métodos de resfriamento de maçãs:

- o método convencional, que consta de câmaras frigoríficas, dotadas de equipamentos para resfriamento e

- o método separado, que consta de um túnel de resfriamento e câmaras frigoríficas, mas estas só para estocagem.

Para este método usamos duas alternativas - túnel de resfriamento à água e túnel de resfriamento a ar.

II REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Pré-Resfriamento

Pré-resfriamento é um termo inventado por Powel e seus colaboradores no Departamento de Agricultura dos E.E.U.U. em 1904, para significar o resfriamento de um produto antes do embarque. Embora o termo tenha esse significado originalmente, ele também inclui o resfriamento do produto antes da estocagem em câmaras frigoríficas (43).

2.2. Métodos

Os dois principais métodos utilizados para o pré-resfriamento de frutas, são: resfriamento com ar forçado e resfriamento com água.

Ambos os métodos têm suas vantagens e desvantagens, p.e., resfriamento com ar forçado tem algumas vantagens, como sejam, melhor estado sanitário, menor deterioramento do equipamento proveniente de corrosão e melhor asseio. Apresentando uma séria desvantagem, qual seja, a dessecação sobre as frutas altamente perecíveis, no qual a qualidade depende da alta retenção de umidade (1). Resfriamento com água oferece como vantagens, uma maior rapidez no resfriamento comparado com ar, menores custos, etc. Entretanto existe uma séria desvantagem, qual seja, os danos causados nos recipientes e materiais de embalagem provenienti

te do umedecimento e as perdas do produto proveniente de infecções transportadas pela água (17).

2.3. Situação Atual de Prê-Resfriamento de Maças no Brasil

Atualmente o consumo de maçãs no Brasil atinge a 18.000.000 caixas/ano (caixa de 20 kg).

A produção brasileira de maçãs este ano foi estimada em 3.000.000 caixas, o que significa dizer que estamos produzindo apenas 16% do que consumimos, sendo que os 84% restantes são importados principalmente da Argentina. Não obstante, são boas as perspectivas para o incremento da produção dessa fruta, pois há áreas selecionadas e próprias para o cultivo, nos Estados de Minas Gerais, São Paulo, Rio Grande do Sul, Paraná e Santa Catarina, este último já opupando a posição de maior produtor nacional.

Atualmente no Brasil já estão sendo fabricados túneis de resfriamento à água, tendo sido os primeiros instalados em Santa Catarina, no ano passado, enquanto novos túneis estão também sendo instalados no Paraná, estimando-se que apenas 432.000 caixas de maçãs tenham sido prê-resfriadas este ano.

2.4. Influência do Método e Velocidade de Resfriamento na Quali dade da Maçã

Maçã não é injuriada por resfriamento rápido se a temperatura na superfície da fruta permanece acima da temperatura de

congelamento ou a fruta não é de uma variedade susceptível à injúria por baixa temperatura (38).

Um estudo sobre o efeito do resfriamento com água de maçãs ("Red Delicious", "Golden Delicious" e "Winesap"), indica que para longa estocagem de maçãs, resfriamento com água não oferece vantagens sobre o resfriamento com ar nas câmaras de estocagem, desde que o resfriamento para aproximadamente 32 °F (0°C) seja efetuado dentro de 1 semana. Entretanto, se há insuficiente capacidade de refrigeração na câmara e um número de unidades de câmaras são envolvidas, resfriamento com água deve ser aconselhável (38).

Resultados de testes relatados por Blanpied mostraram uma perceptível diferença para os 3 primeiros meses em lotes de maçãs "Mc Intosh" que foram resfriadas com água ou resfriadas com ar em 3 dias e 1,2 ou 3 semanas. Contudo, depois de 4 ou 5 meses de estocagem, as resfriadas com água, as resfriadas com ar em 3 dias e as maçãs resfriadas com ar em 1 semana foram quase iguais em qualidade (38).

Pesquisas recentes feitas por Schomer e Patchen, produziram resultados semelhantes para maçãs "Golden Delicious" e "Red Delicious". Para essas variedades, quando resfriadas com água ou ar em 3 e 7 dias, suas vidas de estocagem e qualidade foram essencialmente as mesmas. Contudo, quando resfriadas com ar em 14 e 28 dias, suas qualidades foram inferiores e a vida de estocagem diminuída. As maçãs "Red Delicious" tornaram-se farinhentas e foram impróprias para comer. O mesmo teste em maçãs "Winesap" não indicou qualquer troca de qualidade ou duração na vi

da de estocagem (38).

Poapst e Phillips submeteram maçãs "Mc Intosh", "Cortland" e "Lobo" a quatro diferentes velocidades de resfriamento. Tempos de resfriamento para baixar a temperatura de 60°F ($15,55^{\circ}\text{C}$) à 40°F ($4,44^{\circ}\text{C}$) variaram de 1 1/2 à 96 horas. Eles encontraram substancialmente melhor "flavor" nas maçãs "Mc Intosh" resfriadas rapidamente no final de 4 meses. Depois de 6 meses de estocagem a superioridade desapareceu. As maçãs "Cortland" resfriadas rapidamente foram substancialmente melhores para a primeira metade do período de estocagem e tiveram ligeiramente melhor qualidade comestível até o fim do período de estocagem. As maçãs "Cortland" resfriadas com água tiveram cerca de mais de 50% de frutas sadias depois de 6 meses de estocagem. Pouca diferença de qualquer espécie foi encontrada com maçãs "Lobo" (8).

Pré-resfriamento, um processo que remove rapidamente o calor sensível das frutas e verduras colhidas frescamente, é aconselhado para manter suas altas qualidades (Cook, 1960; Bennett, 1964; Patchen e Sainsbury, 1962). Quando considerando diferentes variedades de maçãs, há algum desacordo quanto tão rapidamente o processo de resfriamento deverá ser feito. Schomer e Patchen, 1968 e Blanpied, 1957 encontraram que quando diferentes variedades de maçãs testadas não puderam ser resfriadas a 32°F (0°C) dentro de 7 dias, resfriamento com água deverá ser benéfico. Devido o produto ser colhido durante um relativo curto período, picos de carga em curto tempo são impostos ao sistema de resfriamento. Frequentemente o resultado é que o produto não é resfriado dentro dos 7 dias sugeridos. Sob estas condi

ções, um processo de pré-resfriamento deverá ser aconselhado (51).

2.5. Comparação Econômica entre os Métodos

Resfriamento com ar forçado, resfriamento com água e resfriamento a vácuo, todos requerem especiais equipamentos de resfriamento e remanuseamento do produto. Consequentemente, estes métodos são geralmente mais caros do que o resfriamento nas próprias câmaras de estocagem. Como é sabido, não tem sido feito estudos dos custos comparativos destes métodos (17).

Economistas universitários relataram o seguinte custo total por ton. de pêssegos resfriados da temperatura de 72 °F (22,2°C) à 40°F (4,44°C), em túnel de resfriamento a ar: Custo Total:US\$ 5.41 (1954).

Um estudo feito em North Carolina reportou o seguinte custo total por ton. de pêssegos resfriados da temperatura de 81°F (27,22°C) à 51°F (10,55°C), em túnel de resfriamento à água: Custo Total:US\$ 5.64 (1954) (17).

Quando mais de um método de pré-resfriamento pode ser usado satisfatoriamente, o custo torna-se a maior consideração. Embora o pré-resfriamento com ar forçado seja mais caro do que o resfriamento com água, se o produto não requer resfriamento rápido, um sistema de ar forçado pode ser projetado para operar quase tão economicamente quanto o resfriamento com água. Em um estudo de avaliação de custos de sistemas hipotéticos de pré-resfriamento para frutas cítricas, Gaffney e Bowman encontraram

que o custo para o resfriamento com água de laranjas em caixas de madeira (90-lb) (40,8 Kg) paletizadas ou em pilhas é 4,30 cents por caixa, baseado em 16 hrs. de operação por dia. O custo para o resfriamento com ar em caixas de papelão para o mesmo tempo de operação foi encontrado como sendo 6,23 cents (1970) (1).

Da vasta literatura consultada não encontramos dados de custos do resfriamento de maçãs sendo feito nas próprias câmaras de estocagem ou em equipamento separado (túnel de resfriamento à água e a ar).

2.6. Condução de Calor em Regime Transiente

A equação diferencial para a condução de calor, sem geração interna de calor, para uma esfera com uma temperatura inicial (t_0) uniforme e repentinamente colocada em um ambiente com uma temperatura (t_1) constante, é dada por: (26)

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \alpha \left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial t}{\partial r} \right) \quad (1)$$

Com as seguintes condições de contorno:

$$t = t_0 \quad \text{em } \tau = 0, \text{ para todo } r$$

$$\frac{\partial t}{\partial r} = 0 \quad \text{em } r = 0$$

$$\frac{\partial t}{\partial r} = \frac{h}{K} (t - t_1) \quad \text{em } r = R \text{ para } \tau > 0$$

A segunda condição de contorno resulta da simetria de temperatura em $r = 0$ (a origem foi escolhida para ser o centro da esfera). A última condição de contorno é o fluxo de calor na superfície, é obtida comparando a razão de transferência de calor através da superfície $hA(t_1 - t)$ (Lei de Newton) com o fluxo de calor na superfície $- AK \frac{\partial t}{\partial r}$ (26).

A solução desta equação dá a temperatura t na posição radial r , após o tempo τ de uma esfera de densidade ρ , calor específico C_p e condutividade térmica K .

2.7. Modelo Matemático

Schneider (1955) usando o método analítico, encontrou a solução da Equação (1) como sendo uma série infinita:

$$\frac{t - t_1}{t_0 - t_1} = \frac{4}{\beta_i} \frac{R}{r} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\frac{\beta_i^2}{R^2} \alpha \tau}{\frac{\beta_i^2}{R^2} \alpha \tau} \frac{\text{sen } \beta_i - \beta_i \cos \beta_i}{2 \beta_i - \text{sen } 2 \beta_i} e^{-\frac{\beta_i^2}{R^2} \alpha \tau} \text{sen} \left(\frac{r}{R} \beta_i \right) \quad (2)$$

Onde: Os fatores β_i são as raízes da equação transcendental:

$$N_{\beta_i} = 1 - \beta_i \cot \beta_i$$

Depois de um longo período de tempo, todos os termos da série, exceto o primeiro, podem ser desprezíveis e a Equação (2) torna-se: (26)

$$\frac{t - t_1}{t_0 - t_1} = \frac{4}{\beta_1} \frac{R}{r} \left(\frac{\sin \beta_1 - \beta_1 \cos \beta_1}{2\beta_1 - \sin 2\beta_1} \right) e^{-\frac{\beta_1^2 \alpha \tau}{R^2}} \sin \left(\frac{r}{R} \beta_1 \right)$$

A aplicação deste modelo matemático exigiu a introdução das seguintes suposições:

- a - Temperatura inicial da maçã uniforme.
- b - A maçã foi considerada como um corpo de forma esférica.
- c - As propriedades físicas e termodinâmicas da maçã foram consideradas uniformes e constantes durante o período de resfriamento.
- d - Condições, especialmente velocidade e temperatura do ar foram consideradas constantes durante o período de resfriamento (33).

2.8. Propriedades Físicas e Termodinâmicas da Maçã

As propriedades físicas e termodinâmicas da maçã variam com o teor de umidade.

Siebel apresenta a seguinte fórmula para o cálculo do calor específico: (26)

$$C_p = 0,008 P + 0,20 \quad (3)$$

Andersen apresenta a seguinte fórmula para o cálculo da condutividade térmica: (33)

$$K = MK_w + (1 + M) K_s \quad (4)$$

A difusividade térmica é dada por:

$$\alpha = \frac{K}{\rho C_p} \quad (5)$$

A densidade e a porcentagem de umidade da maçã foram determinadas experimentalmente (Conforme Apêndice E) e encontramos como sendo $876,2 \text{ Kg/m}^3$ e $83,25\%$, respectivamente. Substituindo esses valores nas Equações (3), (4) e (5), tem-se:

$$C_p = 0,866 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}$$

$$K = 0,4329 \text{ Kcal/hm}^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha = 0,00057 \text{ m}^2/\text{h}$$

III OBJETIVOS

Este trabalho tem por finalidade a elaboração de uma com
paração, sob o ponto de vista econômico, dos métodos de resfriamen
to de maçã, afim de que os resultados sejam adequados para
um melhor julgamento no selecionamento dos métodos no estabelecimento
de novos grandes frigoríficos para maçãs.

IV PROGRAMAÇÃO E SIMULAÇÃO

O programa e seu respectivo diagrama de bloco apresenta do na página 16 , desenvolvido segundo a linguagem FORTRAN IV (Pacitti, 1969) e executado em Computador PDP-10-Digital Equipment Corporation System, simula em cada instante o cálculo da temperatura média da maçã, durante o pré-resfriamento em um túnel de resfriamento a ar.

4.1. Temperatura Inicial da Maçã

Conforme informações da Estação Meteorológica de São Joaquim (SC), a temperatura média ambiente registrada nos meses de março e abril de cada ano é de $16,5^{\circ}\text{C}$, consideramos então que a maçã colhida do pomar tivesse uma temperatura média um pouco maior do que a temperatura média ambiente, ou seja, 20°C .

4.2. Escolha do Raio da Maçã

De acôrdo com dados relativos a tamanhos de maçãs, selecionamos os dois tamanhos extremos, ou seja, a de raio mínimo (0,0254 m) e máximo (0,0508 m).

4.3. Escolha da Temperatura do Ar

Em pré-resfriamento a ar, se o ar for resfriado abaixo da temperatura de fusão da fruta, poderá ocorrer injúria pelo

frio, tendo-se isto em vista, escolhemos uma temperatura (0°C) que fosse um pouco maior do que a temperatura de fusão da maçã (-2°C).

4.4. Escolha da Velocidade do Ar

Foi feita baseados em dados da literatura, onde as velocidades mais utilizadas no pré-resfriamento de frutas, estão compreendidas na faixa (1 - 4 m/s) a qual selecionamos.

4.5. Coefficiente de Transferência de Calor

No intervalo de números de Reynolds de cerca de 25 a 100.000, a equação, recomendada por McAdams (30), para o cálculo do coeficiente convectivo de calor para esferas aquecidas ou resfriadas por um gás é:

$$\frac{hD}{K_{AR}} = 0,37 \left(\frac{\rho D V_F}{\mu} \right)^{0,6}$$

4.6. Intervalo de Tempo

Escolhemos arbitrariamente intervalos de tempo de $\Delta\tau = 0,1 \text{ h}$.

4.7. Incrementos na Posição Radial da Maçã

Tomamos pequenos incrementos de $\Delta r = 0,00127$ no sentido de se cobrir uma grande gama de camadas e por conseguinte se

obter uma boa aproximação no cálculo da temperatura média da maçã.

4.8. Temperatura Média

A temperatura média da maçã foi determinada pela seguinte equação:

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} t_i M_i}{\sum_{i=1}^{\infty} M_i}$$

AVALIACAO DA TEMPERATURA MEDIA DA MACA EM FUNCAO DO RAO,TEMPO,
VELOCIDADE E TEMPERATURA DO AR

SIMBOLOS

DIFUSM =DIFUSIVIDADE TERMICA DA MACA
CONDM =CONDUTIVIDADE TERMICA DA MACA
DENSM =DENSIDADE DA MACA
RMIN =RAIO MINIMO DA MACA
RMAX =RAIO MAXIMO DA MACA
T0 =TEMPERATURA INICIAL DA MACA
TMEDIO =TEMPERATURA MEDIA DA MACA
DELV =INCREMENTO NA VELOCIDADE DO AR
DELT =INCREMENTO NO TEMPO
DELTR =INCREMENTO NA POSICAO RADIAL DA MACA
CONDF =CONDUTIVIDADE TERMICA DO AR
DENSEF =DENSIDADE DO AR
VISCF =VISCOSIDADE DO AR
OBS = AS PROPRIEDADES DO AR FORAM AVALIADAS A TEMPERATURA DE
ZERO GRAUS CENTIGRADOS
BETA1 =PRIMEIRA RAIZ DA EQUACAO TRANSCENDENTAL
T1 =TEMPERATURA DO AR
VEL =VELOCIDADE DO AR
H =COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR
POSIC(I) =POSICAO RADIAL NA MACA
MASSA(I) =MASSA DA MACA NA POSICAO 1,2,3,...40
INCREM =NUMERO DE POSICOES RADIAIS ASSUMIDAS
BIOT =NUMERO DE BIOT

```

-----
DIMENSION T(42),POSIC(-1/42),MASSA(42)
DATA CONDF,DENSEF,VISCF/0.0207,1.2504,0.0622/
DATA DIFUSM,CONDM,DENSM/0.00057,0.4329,876.2/
DATA T0,RMIN,RMAX,BETA1/20.0,0.0254,0.0508,1.0/
DATA T1,DRAIO/0.0,0.0254/
DATA DELV,DELT,DELTR/3658.0,0.1,0.00127/
REAL MASSA
INCREM=20
RAIO=RMIN
1000 WRITE(5,1)RAIO
1   FORMAT(1X,'RAIO DA MACA= ',F6.5,1X,'M',/)
   WRITE(5,2)T1
2   FORMAT(1X,'TEMP. DO FLUIDO= ',F4.1,1X,'C')
   VEL=0.0
   DO 300 K=1,4,1
   VEL =VEL+DELV
   WRITE(5,3)VEL
3   FORMAT(1X,'VEL. DO AR= ',F7.1,1X,'M/H')
   H=(CONDF/(2.*RAIO))*(0.37*(2.*RAIO*VEL*DENSEF/VISCF)**0.6)
   WRITE(5,113)H
113  FORMAT(1X,'H= ',G)
   BIOT=(H*RAIO)/CONDM
112  C=1.-BETA1*COS(BETA1)/SIN(BETA1)
   DIF=C-BIOT
   IF(ABS(DIF).LE.0.1)GO TO 111
   BETA1=BETA1+0.0001
   GO TO 112
111  TEMPO=0.0
   WRITE(5,115)BETA1
115  FORMAT(1X,'BETA1 JOIA= ',G)

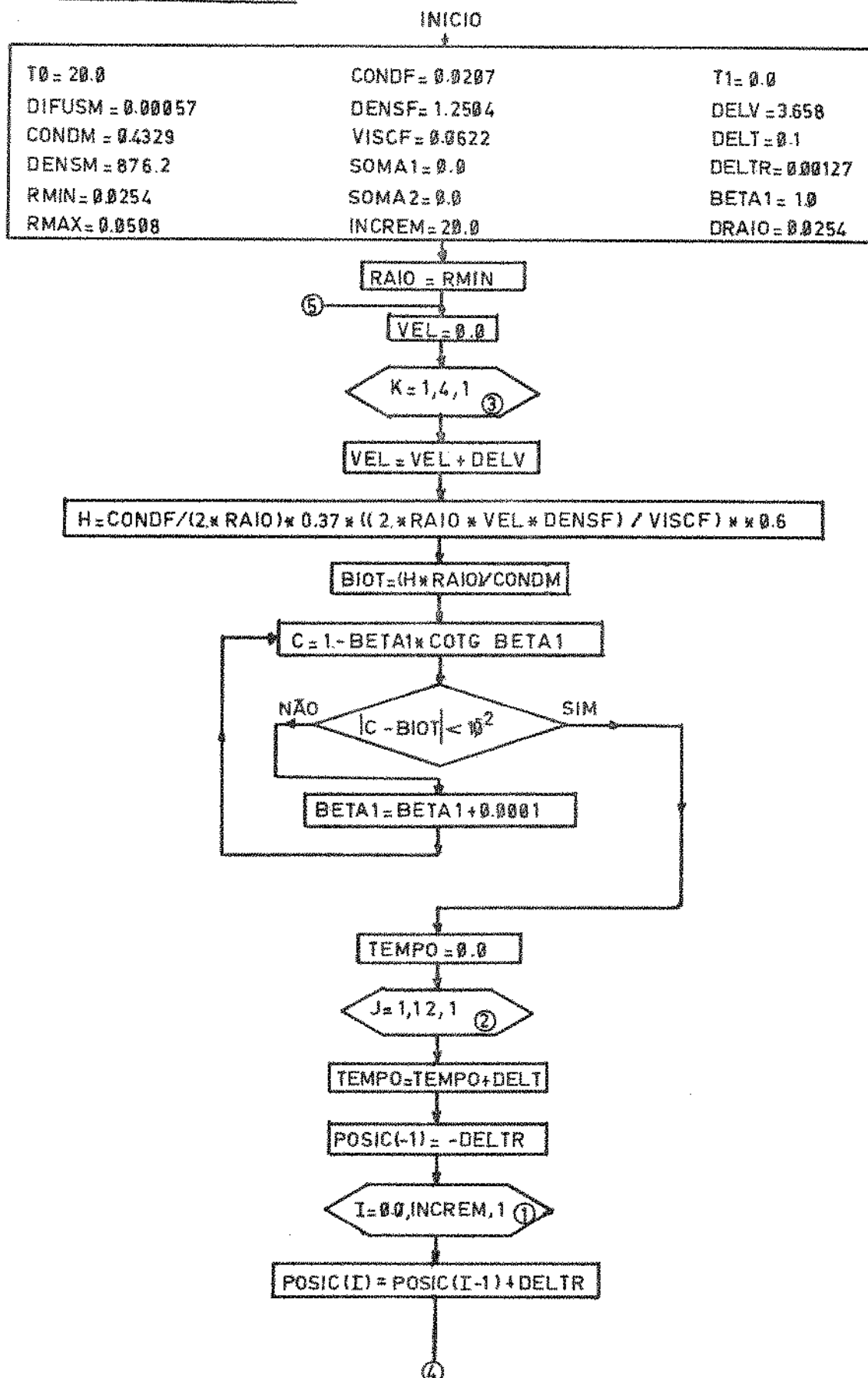
```

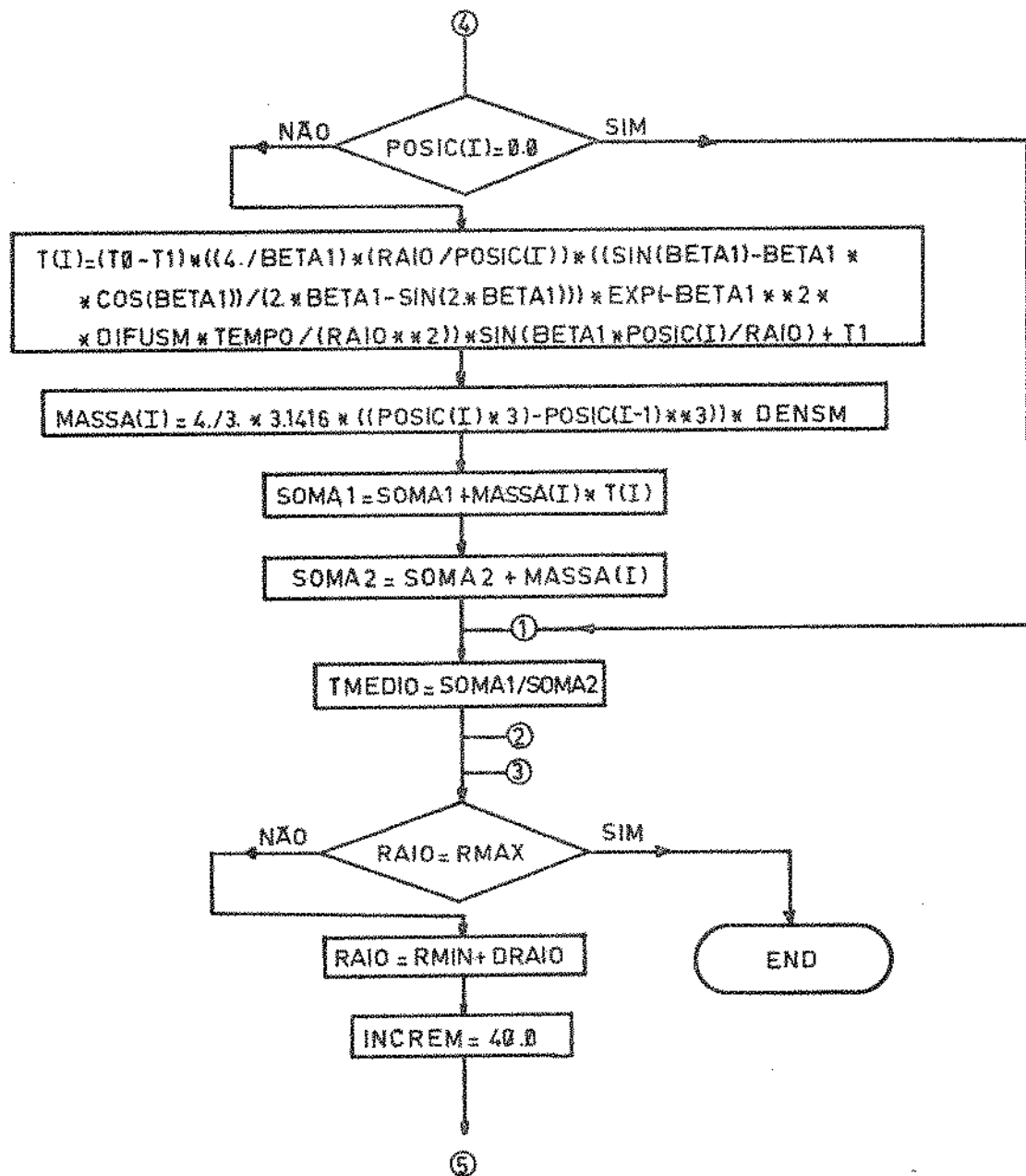
```

DO 200 J=1,10,1
SOMA1=0.0
SOMA2=0.0
TEMPO=TEMPO+DELT
WRITE(5,4)TEMPO
4  FORMAT(10X,'TEMPO= ',E6,4,1X,'HORAS')
POSIC(-1)=-DELTR
DO 100 I=0,INCREM,1
POSIC(I)=POSIC(I-1)+DELTR
IF(POSIC(I).EQ.0.0)GO TO 100
T(I)=(T0-T1)*((4.*RAIO/(BETA1*POSIC(I)))*(SIN(BETA1)-
1BETA1*COS(BETA1))/(2.*BETA1-SIN(2.*BETA1)))*EXP(-BETA1
1**2*DIFUSM*TEMPO/(RAIO**2))*SIN(BETA1*POSIC(I)/RAIO)+T1
MASSA(I)=4./3.*3.1416*((POSIC(I)**3)-(POSIC(I-1)**3))*DENS
SOMA1=SOMA1+MASSA(I)*T(I)
SOMA2=SOMA2+MASSA(I)
100 CONTINUE
TMEDIO=SOMA1/SOMA2
WRITE(5,5)TMEDIO
5  FORMAT(10X,'TEMP. MEDIO= ',G,1X,'C')
200 CONTINUE
BETA1=1.0
300 CONTINUE
BETA1=1.0
IF(RAIO.EQ.RMAX)GO TO 1112
RAIO=RMIN+DRAIO
INCREM=40
GO TO 1000
1112 CALL EXIT
END

```

DIAGRAMA DE BLOCOS





NOMENCLATURA UTILIZADA NO PROGRAMA

BETA 1	Primeira raiz da equação transcendental
BIOT	Número de Biot, adimensional
CONDF	Condutividade térmica do ar, Kcal/hm ^{°C}
CONDM	Condutividade térmica da maçã, Kcal/hm ^{°C}
DELT	Incremento no tempo, h
DELTR	Incremento na posição radial, m
DELV	Incremento na velocidade do ar, m/h
DENSF	Densidade do ar, Kg/m ³
DENSM	Densidade da maçã, Kg/m ³
DIFUSM	Difusividade térmica da maçã, m ² /h
H	Coefficiente de transferência de calor, Kcal/hm ^{2°C}
INCREM	Número de posições radiais assumidas
MASSA(I)	Massa da maçã na posição 1,2,3...20,...40, Kg
POSIC(I)	Posição radial na maçã, m
RMÁX	Raio máximo da maçã, m
RMÍN	Raio mínimo da maçã, m
TO	Temperatura inicial da maçã, °C
TI	Temperatura do ar, °C
TMÉDIO	Temperatura média da maçã, °C
VEL	Velocidade do ar, m/h
VISCF	Viscosidade do ar, Kg/mh

TABELA 1 - Resultados da Simulação

(Abaixamento da temperatura média da maçã em função
do raio, tempo, velocidade e temperatura do ar)

Tempo (h)	Raio da Maçã = 0.0254 (m)				Raio da Maçã = 0.0508 (m)			
	Velocidade do Ar (m/h)				Velocidade do Ar (m/h)			
	3.658	7.316	10.974	14.632	3.658	7.316	10.974	14.632
0.1	15.15	13.39	12.29	11.50	17.45	16.29	15.51	14.93
0.2	11.91	9.58	8.28	7.41	16.05	14.60	13.68	13.04
0.3	9.36	6.86	5.57	4.77	14.76	13.08	12.07	11.38
0.4	7.36	4.91	3.75	3.07	13.58	11.72	10.65	9.93
0.5	5.79	3.51	2.53	1.98	12.49	10.50	9.40	8.67
0.6	4.55	2.51	1.70	1.27	11.48	9.41	8.29	7.57
0.7	3.57	1.80	1.14	0.82	10.56	8.43	7.31	6.61
0.8	2.81	1.28	0.77	0.53	9.71	7.55	6.45	5.77
0.9	2.21	0.92	0.52	0.34	8.93	6.76	5.69	5.03
1.0	1.73	0.66	0.35	0.22	8.22	6.06	5.02	4.39
1.1	1.36	0.47	0.23	0.14	7.56	5.43	4.43	3.83
1.2	1.07	0.33	0.15	0.09	6.95	4.86	3.91	3.35
1.3	0.84	0.24	0.10	0.05	6.39	4.36	3.44	2.92
1.4	0.66	0.17	0.07	0.03	5.88	3.90	3.04	2.55
1.5	0.52	0.12	0.04	0.02	5.41	3.50	2.68	2.22
1.6	0.41	0.08	0.03	0.015	4.97	3.13	2.36	1.94
1.7	0.32	0.06	0.02	0.011	4.57	2.81	2.09	1.69
1.8	0.25	0.04	0.01	0.006	4.21	2.51	1.84	1.48

V MÉTODOS

5.1. Método Convencional

5.1.1. Dimensionamento de um Frigorífico para Maçã

Conforme dados fornecidos pela Cooperativa Agrícola de Cotia, o frigorífico a ser instalado em São Joaquim (SC), terá que ser dimensionado visando uma capacidade de armazenamento total até 1985, da ordem de 8.800.000 Kg de maçãs. Nos anos anteriores as capacidades necessárias são mostradas abaixo:

1981 - 1.500.000 Kg

1982 - 3.000.000 Kg

1983 - 5.000.000 Kg

1984 - 7.000.000 Kg

Tendo-se isto como base, pensou-se na idéia de se construir um frigorífico dividido em várias câmaras, pois assim as câmaras seriam construídas por etapa, ou seja, dependendo da necessidade anual. Devemos entretanto salientar que para efeito de estudo em nosso trabalho, consideramos o dimensionamento do frigorífico para a capacidade total de armazenamento.

Considerando-se que a colheita da maçã se fará em 20 dias, teremos então, $8.800.000 \text{ Kg} / 20 \text{ dias} = 440.000 \text{ Kg}$ a serem armazenados diariamente.

As caixas de maçãs terão uma capacidade de 400 Kg e dimensões de 1,20x1, 20x0,80 metros.

A capacidade de armazenamento de cada câmara será de tal forma que possa receber exatamente a colheita diária, ou seja, 440.000 Kg; visto que as caixas têm a capacidade de 400 Kg, temos que, $440.000 \text{ Kg} / 400 \text{ Kg} = 1.100$ caixas será a capacidade de cada câmara, o que implica na necessidade de um total de 20 câmaras frigoríficas, conforme disposição mostrada na Fig. 1.

A estocagem das caixas será feita sobre "pallets" com dimensões de 1,20x1,20x0,125 m, sendo que cada caixa terá o seu próprio "pallet", perfazendo uma altura total (caixa+"pallet") de 0,925 m.

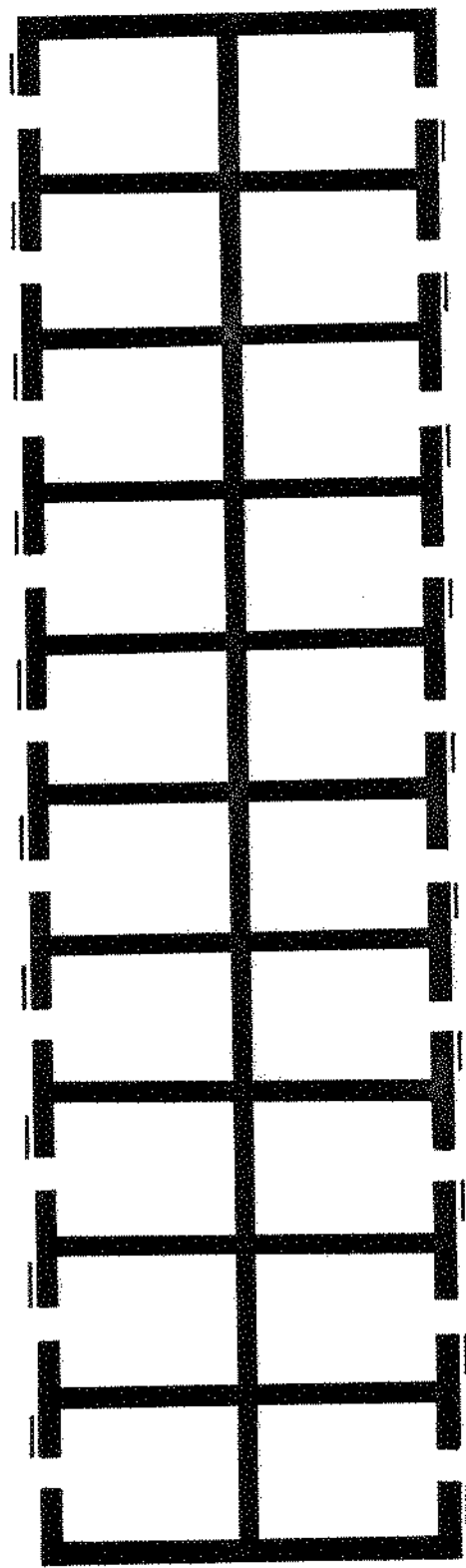
As caixas serão estocadas uma sobre outra em pilhas de 7 caixas com seus respectivos "pallets", o que nos dá uma altura total para cada pilha de 6,475 m, consideraremos portanto uma altura da câmara de 7 metros.

Visto que 1.100 caixas serão estocadas em pilhas contendo 7 caixas cada, obtemos que, $1.100 \text{ cxs.} / 7 = 158$ será o número de pilhas por câmara.

No comprimento da câmara será considerado fileiras de 16 pilhas cada uma, sendo de 10 cm o espaço livre entre as pilhas e 30 cm o espaçamento entre as pilhas adjacentes à parede da câmara, tendo-se portanto um comprimento total da câmara de 21,30 metros.

Na largura da câmara será considerado fileiras de 10 pilhas cada uma, sendo também de 10 cm o espaço livre entre as pilhas, 30 cm o espaçamento entre as pilhas adjacentes à parede da câmara, um corredor central de 3,10 m para a movimentação da empilhadeira elétrica, tendo-se portanto uma largura total da

FIG.1 - DISPOSIÇÃO DAS CÂMARAS DO FRIGORÍFICO



Comprimento total do frigorífico = 165 m
Largura total = 43 m
Área ocupada = 7.095 m²

câmara de 16,50 metros.

Resumindo, cada câmara terá as seguintes dimensões:
21,30 x 16,50 x 7 metros.

O estado do ar na câmara frigorífica foi considerado como sendo à 0°C e com 90% de umidade relativa.

5.1.2. Memorial Descritivo do Processo de Armazenamento

5.1.2.1. Colheita da Maçã:

Será feita manualmente. Os colhedores dispõem de um saco de pano empendurado ao pescoço, saco este dotado de duas saídas laterais o que facilitará a retirada das maçãs para as caixas. As caixas são de madeira, com dimensões de 1,20x1,20x0,80 m e com capacidade para 400 Kg de maçãs; estas mesmas caixas serão usadas para o armazenamento das maçãs nas câmaras frigoríficas.

5.1.2.2. Transporte:

As maçãs serão transportadas dos pomares à "packing-house" nas caixas de 400 Kg, em caminhões. O transporte deverá ser feito com o máximo de cuidado e o mais rapidamente possível. As precauções que devem ser tomadas, são:

- a) As caixas utilizadas devem estar com sua carga completa, mas não em excesso, afim de se evitar amassamento das maçãs.
- b) As caixas devem ser colocadas no veículo, de tal modo que não sejam jogadas de um lado para outro, provocando esfolamento nas maçãs.

5.1.2.3. Recepção da Maçã na "Packinghouse":

Através de uma empilhadeira elétrica as caixas serão retiradas do caminhão e transportadas para o classificador, onde será feito a classificação por peso.

5.1.2.4. Armazenamento:

Feito a classificação as maçãs retornarão às caixas de 400 Kg e uma empilhadeira transportará as caixas até às câmaras frigoríficas. Nestas câmaras se dará o resfriamento da maçã de sua temperatura média inicial (20°C) até a temperatura do ar da câmara, ou seja, de 0°C , nesta temperatura a maçã permanecerá estocada durante 5 meses, ou seja, de maio à setembro.

5.1.2.5. Embalagem:

No final da estocagem as maçãs serão retiradas das câmaras frigoríficas, embaladas manualmente em caixas de papelão com dimensões de 50x30x30 cm e capacidade de 20 Kg, e então transportadas em caminhões para os mercados consumidores.

5.1.3. Carga Térmica Máxima no Final do Carregamento

Foram considerados os seguintes itens:

5.1.3.1. Transmissão de Calor Através das Paredes

$$Q = A U (\bar{t}_e - t_c) \quad 24$$

$$t_c = 0^\circ\text{C}$$

$$\bar{t}_e = 16,52^\circ\text{C} \quad (\text{Temperatura média ambiente dos meses de março e abril de cada ano, conforme a Estação Meteorológica de São Joaquim-SC})$$

a) Cálculo do coeficiente global de transferência de calor

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_e} + \frac{f_i}{K_i} + \frac{f_p}{K_p} + \frac{1}{h_i}$$

$$f_i = 0,1 \text{ m}$$

$$K_i = 0,025 \text{ Kcal/hm}^\circ\text{C} \quad (\text{Poliestireno expandido - Conforme catálogo de isolantes da Plásticos Tupiniquim S.A.})$$

$$f_p = 0,13 \text{ m}$$

$$K_p = 0,565 \text{ Kcal/hm}^\circ\text{C} \quad (27)$$

$$h_i = 7 \text{ Kcal/hm}^2\text{C} \quad (3)$$

$$h_e = 7 \text{ Kcal/hm}^2\text{C} \quad (3)$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{7} + \frac{0,1}{0,025} + \frac{0,13}{0,565} + \frac{1}{7} = 4,514 \text{ .}^\circ$$

$$U = 0,22 \text{ Kcal/hm}^2\text{C}$$

b) Cálculo da transmissão através de 1 câmara

Conforme ASHRAE, devemos adicionar à temperatura ambiente devido a radiação solar:

$$\text{Leste-Oeste} - 2,22^\circ\text{C}$$

$$\text{Teto} - 5^\circ\text{C}$$

$$Q_1(L-O) = (16,96 \times 7,46 \times 2) 0,22 (16,52 + 2,22 - 0) 24 = 25.038$$

$$Q_2(N-S) = (21,76 \times 7,46 \times 2) 0,22 (16,52 - 0) 24 = 28.318$$

$$Q_3(PISO) = (16,50 \times 21,30) 0,22 (16,52 - 0) 24 = 30.655$$

$$Q_4(TETO) = (16,50 \times 21,30) 0,22 (16,52 - 0) 24 = 30.655$$

$$\text{Total: } Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 114.666 \text{ Kcal/dia}$$

$$\text{Transmissão Total: } Q_p = 20 \text{ (câmaras)} \times 114.666 = \underline{2.293.320 \text{ Kcal/dia}}$$

5.1.3.2. Transmissão de Calor Através das Portas

$$Q = V \times n (H_e - H_i) \frac{1}{v}$$

$$V = 21,30 \times 16,50 \times 7 = 2.460,15 \text{ m}^3$$

$$n = 3$$

$$H_i = 6,66 \text{ Kcal/Kg } (P_b = 647 \text{ mm Hg - ar a } 0^\circ\text{C e } 90\% \text{ de U.R.)}$$

$$H_e = 14,97 \text{ Kcal/Kg } (P_b = 647 \text{ mm Hg - ar a } 16,52^\circ\text{C e } 81,85\% \text{ de U.R.)}$$

$$v = 1/0,904 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$Q_{pO} = 2.460,15 \times 3 \times (14,97 - 6,66) 1/0,904 = 67.845 \text{ Kcal/dia}$$

Usando-se uma cortina de ar, a carga térmica se reduzirá a apenas 20% desse valor, ou seja,

$$Q_{pO} = 20\% \times 67.845 = \underline{13.569 \text{ Kcal/dia}}$$

5.1.3.3. Resfriamento do Produto

a) Abaixamento da temperatura média da maçã

O tempo para se resfriar o produto de sua temperatura inicial até a desejada, depende das dimensões das caixas. Para caixas de maçã de 20 Kg, na prática usa-se o tempo de 24 hrs. para o abaixamento da temperatura de 25°C até 5°C, mantendo-se a temperatura interna da câmara constante e igual a 0°C. Calculamos pelo Método de Baehr (41), para as nossas caixas de 400 Kg:

O tempo de resfriamento é dado pela seguinte equação:

$$\tau_R = \frac{X}{\alpha} \frac{\ln(\theta_i/\theta) + \ln C_1 + \ln C_2 + \ln C_3}{u^2 + (X/Y)^2 v^2 + (X/Z)^2 x^2} \quad (6)$$

$$\theta_i = \bar{t}_i - t_c = 25 - 0 = 25^\circ\text{C}$$

$$\theta = \bar{t}_f - t_c = 5 - 0 = 5^\circ\text{C}$$

$$\text{Dimensões da caixa} = 1,20 \times 1,20 \times 0,80 \text{ m}$$

$$X = 0,80/2 = 0,40 \text{ m}$$

$$Y = 1,20/2 = 0,60 \text{ m}$$

$$Z = 1,20/2 = 0,60 \text{ m}$$

$$C_p = 0,88 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

$$h = 5 \text{ Kcal/mh}^\circ\text{C}$$

$$K = 0,473 \text{ Kcal/mh}^\circ\text{C}$$

$$K_{AR} = 0,02 \text{ Kcal/mh}^\circ\text{C}$$

Cálculo da Porosidade (ϵ):

$$\rho_{ap} = m/V_{ap} = \frac{400}{1,20 \times 1,20 \times 0,80} = 347 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_p = 950 \text{ Kg/m}^3$$

$$\epsilon = 1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_p} = 1 - \frac{347}{950} = 0,6348$$

$$K_{PAR} = K_p (1 - \epsilon) + K_{AR} \epsilon = 0,473 \times 0,3652 + 0,02 \times 0,6348 = 0,1853$$

Kcal/mh°C

$$\alpha = \frac{K_{PAR}}{C_p + \rho_{ap}} = \frac{0,1853}{0,88 \times 347} = 0,00060 \text{ m}^2/\text{h}$$

$$Bi_x = \frac{0,4 \times 5}{0,1853} = 10,79$$

$$Bi_y = \frac{0,6 \times 5}{0,1853} = 16,18$$

$$Bi_z = \frac{0,6 \times 5}{0,1853} = 16,18$$

Com esses valores dos números de Biot, determinamos na Tabela 4 (41):

$$u^2 = 2,060, v^2 = 2,186 \text{ e } x^2 = 2,186, \text{ respectivamente.}$$

Com esses mesmos valores dos números de Biot, determinamos na figura 3 (41): $\ln C_1 = \ln C_2 = \ln C_3 = 0,23$

Substituindo esses valores na Equação (6), encontramos um tempo de resfriamento (τ_R) = 96 horas.

Devemos no entanto ressaltar que o Método de Baehr é aplicado para caixas totalmente fechadas, diferentemente das nossas caixas, onde há pequenas aberturas para a movimentação do ar no interior das mesmas. Da vasta literatura consultada não encontramos nenhum método para o cálculo do abaixamento de temperatura em caixas com aberturas, e ainda mais, levando-se em consideração que a temperatura do ar da câmara não permanece

rá constante, consideramos o resultado obtido pelo Método de Baehr como uma boa aproximação.

Com esses dados e considerando que a maçã se comporte como um corpo homogêneo, podemos usar a seguinte equação exponencial para o cálculo da constante de tempo (T):

$$\theta = \theta_i e^{-\tau_R/T} \quad (7)$$

$$\text{Onde: } \theta = \bar{t}_f - t_c = 5 - 0 = 5^{\circ}\text{C}$$

$$\theta_i = \bar{t}_i - t_c = 25 - 0 = 25^{\circ}\text{C}$$

$$\tau_R = 96 \text{ hrs.}$$

$$\text{De (7), obtemos: } T = 59,66$$

O abaixamento de temperatura em cada dia será então de terminado usando-se novamente a Eq. (7), vem:

$$\begin{aligned} \theta &= 20 e^{-24/59,66} = 20 \times 0,668 = 13,36^{\circ}\text{C} \\ &= 13,36 \times 0,668 = 8,92^{\circ}\text{C} \\ &= 8,92 \times 0,668 = 5,95^{\circ}\text{C} \\ &= 5,95 \times 0,668 = 3,97^{\circ}\text{C} \\ &= 3,97 \times 0,668 = 2,65^{\circ}\text{C} \\ &= 2,65 \times 0,668 = 1,77^{\circ}\text{C} \\ &= 1,77 \times 0,668 = 1,18^{\circ}\text{C} \\ &= 1,18 \times 0,668 = 0,78^{\circ}\text{C} \\ &= 0,78 \times 0,668 = 0,52^{\circ}\text{C} \\ &= 0,52 \times 0,668 = 0,34^{\circ}\text{C} \\ &= 0,34 \times 0,668 = 0,22^{\circ}\text{C} \\ &= 0,22 \times 0,668 = 0,14^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\theta &= 0,14 \times 0,668 = 0,09^{\circ}\text{C} \\ &= 0,09 \times 0,668 = 0,06^{\circ}\text{C} \\ &= 0,06 \times 0,668 = 0,04^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

b) Carga térmica

$$Q = mC_p \Delta t$$

$m = 440.000 \text{ Kg}$ (quantidade de maçã estocada diariamente)

$C_p = 0,88 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}$ (da literatura)

Δt (determinado no ítem anterior)

$$\begin{aligned}1^{\circ} \text{ dia: } &440.000 \times 0,88 \times (20 - 13,36) = 2.571.008 \\ 2^{\circ} \text{ " : } &440.000 \times 0,88 \times (13,36 - 8,92) = 1.719.168 \\ 3^{\circ} \text{ " : } &440.000 \times 0,88 \times (8,92 - 5,95) = 1.149.984 \\ 4^{\circ} \text{ " : } &440.000 \times 0,88 \times (5,95 - 3,97) = 766.656 \\ 5^{\circ} \text{ " : } &440.000 \times 0,88 \times (3,97 - 2,65) = 511.104 \\ 6^{\circ} \text{ " : } &440.000 \times 0,88 \times (2,65 - 1,77) = 340.736 \\ 7^{\circ} \text{ " : } &440.000 \times 0,88 \times (1,77 - 1,18) = 228.448 \\ 8^{\circ} \text{ " : } &440.000 \times 0,88 \times (1,18 - 0,78) = 154.880 \\ 9^{\circ} \text{ " : } &440.000 \times 0,88 \times (0,78 - 0,52) = 100.672 \\ 10^{\circ} \text{ " : } &440.000 \times 0,88 \times (0,52 - 0,34) = 69.696 \\ 11^{\circ} \text{ " : } &440.000 \times 0,88 \times (0,34 - 0,22) = 46.464 \\ 12^{\circ} \text{ " : } &440.000 \times 0,88 \times (0,22 - 0,14) = 30.976 \\ 13^{\circ} \text{ " : } &440.000 \times 0,88 \times (0,14 - 0,09) = 19.360 \\ 14^{\circ} \text{ " : } &440.000 \times 0,88 \times (0,09 - 0,06) = 11.616 \\ 15^{\circ} \text{ " : } &440.000 \times 0,88 \times (0,06 - 0,04) = 7.744\end{aligned}$$

No 15º dia de carregamento teremos a carga térmica máxima (somatório das cargas térmicas dos 15 dias), ou seja,

$$Q_R = 7.728.512 \text{ Kcal/dia}$$

Considerando uma carga térmica, devido as caixas, de 10% da carga do produto:

$$Q_C = 10\% \times 7.728.512 = 772.851 \text{ Kcal/dia}$$

$$Q_{RC} = Q_R + Q_C = \underline{8.501.363 \text{ Kcal/dia}}$$

5.1.3.4. Respiração do Produto

a) Calor de respiração da maçã

$$Q_{RM} = 0,0136 e^{\ln 2,5 (t)/10} \quad (19)$$

Com as temperaturas calculadas no item 5.1.3.3.b e a Eq. acima, determinamos o calor de respiração da maçã para cada temperatura:

peratura:	$\bar{t} (^{\circ}\text{C})$	$Q_{RM} \text{ (Kcal/hKg)}$
	20	0,0850
	13,36	0,0462
	8,92	0,0307
	5,95	0,0234
	3,97	0,0195
	2,65	0,0173
	1,77	0,0159
	1,18	0,0151
	0,78	0,0146
	0,52	0,0142
	0,34	0,0140
	0,22	0,0138
	0,14	0,0137
	0,09	0,0137
	0,06	0,0136
	0,04	0,0136
	0,0	0,0136

b) Carga térmica

$$Q = m \frac{Q_{RMt_i} + Q_{RMt_f}}{2} \times 24 \quad (19)$$

$m = 440.000 \text{ Kg}$ (quantidade de maçã estocada diariamente)

$$1^{\circ} \text{ dia: } 440.000 \times \frac{0,0850 + 0,0462}{2} \times 24 = 692.736$$

$$2^{\circ} \text{ " : } 440.000 \times \frac{0,0462 + 0,0307}{2} \times 24 = 406.032$$

$$3^{\circ} \text{ " : } 440.000 \times \frac{0,0307 + 0,0234}{2} \times 24 = 285.648$$

$$4^{\circ} \text{ " : } 440.000 \times \frac{0,0234 + 0,0195}{2} \times 24 = 226.512$$

$$5^{\circ} \text{ " : } 440.000 \times \frac{0,0195 + 0,0173}{2} \times 24 = 194.304$$

$$6^{\circ} \text{ " : } 440.000 \times \frac{0,0173 + 0,0159}{2} \times 24 = 175.296$$

$$7^{\circ} \text{ " : } 440.000 \times \frac{0,0159 + 0,0151}{2} \times 24 = 163.680$$

$$8^{\circ} \text{ " : } 440.000 \times \frac{0,0151 + 0,0146}{2} \times 24 = 156.816$$

$$9^{\circ} \text{ " : } 440.000 \times \frac{0,0146 + 0,0142}{2} \times 24 = 152.064$$

$$10^{\circ} \text{ dia: } 440.000 \times \frac{0,0142 + 0,0140}{2} \times 24 = 148.896$$

$$11^{\circ} \text{ " : } 440.000 \times \frac{0,0140 + 0,0138}{2} \times 24 = 146.784$$

$$12^{\circ} \text{ " : } 440.000 \times \frac{0,0138 + 0,0137}{2} \times 24 = 145.200$$

$$13^{\circ} \text{ " : } 440.000 \times \frac{0,0137 + 0,0137}{2} \times 24 = 144.672$$

$$14^{\circ} \text{ " : } 440.000 \times \frac{0,0137 + 0,0136}{2} \times 24 = 144.144$$

$$15^{\circ} \text{ " : } 440.000 \times \frac{0,0136 + 0,0136}{2} \times 24 = 143.616$$

$$16^{\circ} \text{ " : } 440.000 \times 0,0136 \times 24 = 143.616$$

$$17^{\circ} \text{ " : } 440.000 \times 0,0136 \times 24 = 143.616$$

$$18^{\circ} \text{ " : } 440.000 \times 0,0136 \times 24 = 143.616$$

$$19^{\circ} \text{ " : } 440.000 \times 0,0136 \times 24 = 143.616$$

$$20^{\circ} \text{ " : } 440.000 \times 0,0136 \times 24 = 143.616$$

No 20º dia de carregamento teremos a carga térmica máxi
ma (somatória das cargas térmicas dos 20 dias), ou seja,

$$Q_{RP} = \underline{4.044.480 \text{ Kcal/dia}}$$

5.1.3.5. Cargas Adicionais

a) Lâmpadas

100 W/30 m², permanecendo ligadas por 6 hrs./dia

$$Q_L = (16,50 \times 21,30) \frac{100}{30} \times 0,86 \times 6 = 6.045 \text{ Kcal/dia}$$

b) Pessoas

Calor gerado/1 pessoa = 300 Kcal/h (2)

Considerou-se 1 pessoa que permanece na câmara por 6 $\frac{\text{hrs.}}{\text{dia}}$

$$Q_{PE} = 1 \times 300 \times 6 = 1.800 \text{ Kcal/dia}$$

c) Empilhadeira Elétrica

$$P_T = 4,77 \text{ Kw}$$

$$Q_E = 4,77 \times 860 \times 6 = 24.613 \text{ Kcal/dia}$$

$$\text{Carga Adicional Total: } Q_A = Q_L + Q_{PE} + Q_E = \underline{32.458 \text{ Kcal/dia}}$$

SOMATÓRIO

1 - TRANSMISSÃO DE CALOR ATRAVÉS DAS PAREDES	- Q = 2.293.320 Kcal/dia
2 - TRANSMISSÃO DE CALOR ATRAVÉS DAS PORTAS	- Q = 13.569 Kcal/dia
3 - RESFRIAMENTO DO PRODUTO	- Q = 8.501.363 Kcal/dia
4 - RESPIRAÇÃO DO PRODUTO	- Q = 4.044.480 Kcal/dia
5 - CARGAS ADICIONAIS	- Q = 32.458 Kcal/dia
<u>SUB-TOTAL:</u>	- Q = 14.885.190 Kcal/dia

6 - DEVIDO VENTILADORES (10%)	- Q = 1.488.519 Kcal/dia
	<u>SUB-TOTAL: Q = 16.373.709 Kcal/dia</u>
7 - DEVIDO SEGURANÇA (10%)	- Q = 1.637.370 Kcal/dia
	<u>TOTAL: Q = 18.011.079 Kcal/dia</u>

Seja $\tau_{op} = 22$ hrs./dia, então:

$$Q_o = \frac{18.011.079}{22} = \underline{818.685 \text{ Kcal/h}}$$

O dimensionamento do equipamento frigorífico foi feito na base desta capacidade frigorífica.

5.1.4. Custos Operacionais

Vide Apêndice C.

5.1.5. Custos Fixos

- 1 - AMORTIZAÇÃO: (Calculada na Tab. 2) Cr\$ 5.780.054,00/Ano
- 2 - SEGUROS:

Equipamento Frigorífico - Consideramos como sendo 0,25% a.a. do custo de investimento do mesmo.

Custo: Cr\$ 31.374.250,00 (Conforme página 62)

0,25% x 31.374.250,00 Cr\$ 78.436,00/Ano

Câmaras Frigoríficas - Consideramos como sendo 0,15% a.a. do custo de investimento das mesmas.

Custo: Cr\$ 26.090.928,00 (Apêndice D)

0,15% x 26.090.928,00 Cr\$ 39.136,00/Ano

3 - MANUTENÇÃO:

Equipamento Frigorífico - Consideramos como sendo 10% a.a.

do custo de investimento do mesmo.

Custo: Cr\$ 31.374.250,00 (Conforme página 62)

10% x 31.374.250,00 Cr\$ 3.137.425,00/Ano

Câmaras Frigoríficas - Consideramos como sendo 1,4% a.a. do

custo de investimento das mesmas.

Custo: Cr\$ 26.090.928,00 (Apêndice D)

1,4% x 26.090.928,00 Cr\$ 365.273,00/Ano

TOTAL: Cr\$ 9.400.324,00/Ano

TABELA 2 - Custos Financeiros e Amortizações (*)

Método Convencional

Carencia = 2 anos

Encargos = 18% a.a.

Amortização = 8 anos

Faixa Financiável = 80%

Capital de Investimento:

Equipamento Frigorífico - Cr\$ 31.709.597,00 (Conforme página 62)

Câmaras Frigoríficas - Cr\$ 26.090.928,00 (Apêndice D)

TOTAL - Cr\$ 57.800.525,00

ANO	SALDO DEVEDOR	ENCARGOS	AMORTIZAÇÃO	TOTAL
1	46.240.420	8.323.276	-	8.323.276
2	46.240.420	8.323.276	-	8.323.276
3	46.240.420	8.323.276	5.780.054	14.103.330
4	40.460.366	7.282.866	5.780.054	13.062.920
5	34.680.312	6.242.456	5.780.052	12.022.508
6	28.900.260	5.202.047	5.780.052	10.982.099
7	23.120.208	4.161.637	5.780.052	9.941.689
8	17.340.156	3.121.228	5.780.052	8.901.280
9	11.560.104	2.080.819	5.780.052	7.860.871
10	5.780.052	1.040.409	5.780.052	6.820.461
TOTAL	-	54.101.290	46.240.420	100.341.710

(*) Conforme o Programa Nacional do Frio (PRONAFRIO)

5.2. Método Separado (Pré-Resfriamento à Água)

5.2.1. Dimensionamento de um Frigorífico para Maçã Igual ao item 5.1.1.

5.2.2. Memorial Descritivo do Processo de Armazenamento

5.2.2.1. Colheita da maçã: Igual ao item 5.1.2.1.

5.2.2.2. Transporte: Igual ao item 5.1.2.2.

5.2.2.3. Recepção da Maçã na "Packinghouse":

Através de uma empilhadeira elétrica as caixas serão retiradas do caminhão e transportadas ao túnel de resfriamento à água (capacidade de 18 ton/h). No túnel as caixas passarão por duas etapas:

- a) Devido virem muito sujas do pomar, passam através de um lavador com "spray" de água.
- b) Em seguida será feito o pré-resfriamento com chuveiramento de água gelada.

À água gelada ($\pm 1^{\circ}\text{C}$) será adicionado duas substâncias: (Conforme procedimento usado no Frigorífico RENAR - Friburgo-SC)

- a) Hipoclorito de Cálcio (2 ppm) - afim de se evitar o problema do "Bitter Pit" (escurecimento da casca proveniente de machucaduras).
- b) Gercobim MG70 (1 ppm) - afim de se eliminar os fungos que porventura existam na casca da maçã, provenientes do pomar.

No túnel, as maçãs serão pré-resfriadas de sua temperatura média inicial (20°C) até uma temperatura média de $\approx 4^{\circ}\text{C}$. O ideal seria se obter uma temperatura média final de 1°C (temp. igual a da água), embora a superfície da maçã consiga esta temperatura, o centro não conseguirá.

5.2.2.4. Classificação:

Após o pré-resfriamento as caixas serão conduzidas ao classificador (capacidade de 18 ton/h), onde será feita a classificação das maçãs por peso.

5.2.2.5. Armazenamento:

Feito a classificação as maçãs retornarão às caixas de 400 Kg e uma empilhadeira transportará até às câmaras frigoríficas. Nestas câmaras se completará o resfriamento da maçã da temperatura média de saída do túnel ($\approx 4^{\circ}\text{C}$) até a temperatura de 0°C , onde nesta temperatura a maçã permanecerá estocada durante 5 meses, ou seja, de maio a setembro.

5.2.2.6. Embalagem: Igual ao item 5.1.2.5.

5.2.3. Carga Térmica Máxima no Final do Carregamento

Foram considerados os seguintes itens:

5.2.3.1. Transmissão de Calor Através das Paredes

Igual à calculada no item 5.1.3.1, ou seja,

$$Q_p = \underline{2.293.320 \text{ Kcal/dia}}$$

5.2.3.2. Transmissão de Calor Através das Portas

Igual à calculada no item 5.1.3.2, ou seja,

$$Q_{pO} = \underline{13.569 \text{ Kcal/dia}}$$

5.2.3.3. Resfriamento do Produto

Esta carga térmica foi calculada da mesma maneira que a do item 5.1.3.3, considerando apenas o abaixamento de temperatura média da maçã de 4°C até 0,04°C. Obtemos:

$$Q_R = \underline{1.686.643 \text{ Kcal/dia}}$$

5.2.3.4. Respiração do Produto

Esta carga térmica foi calculada da mesma maneira que a do item 5.1.3.4, considerando apenas o abaixamento de temperatura média da maçã de 4°C até 0,04°C. Obtemos:

$$Q_{RP} = \underline{3.009.600 \text{ Kcal/dia}}$$

5.2.3.5. Cargas Adicionais

Igual à calculada no item 5.1.3.5, ou seja,

$$Q_A = \underline{32.458 \text{ Kcal/dia}}$$

5.2.3.6. Carga Térmica do Túnel de Resfriamento à Água

a) Resfriamento do produto

$$Q = m C_p (\bar{t}_i - \bar{t}_f)$$

$m = 440.000 \text{ Kg}$ (quantidade de maçã pré-resfriada diariamente)

$$\bar{t}_i = 20^\circ\text{C}$$

$$\bar{t}_f = 4^\circ\text{C}$$

$$C_p = 0,88 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

$$Q = 440.000 \times 0,88 (20 - 4) = 6.195.200 \text{ Kcal/dia}$$

b) Calor introduzido devido às caixas

Consideramos como sendo 5% da carga do resfriamento do produto.

$$5\% \times 6.195.200 = 309.760 \text{ Kcal/dia}$$

c) Calor introduzido devido às bombas de água

$$P_m = 15 \text{ Kw} = 309.600 \text{ Kcal/dia} \text{ (Conforme dado fornecido pela COOCO \& Cia. - SP)}$$

Considerando que apenas a metade deste calor seja transferido para a água (19):

$$Q = 154.800 \text{ Kcal/dia}$$

d) Transmissão de calor através das paredes

Consideramos como sendo 5% da carga devido o resfriamento do produto.

$$5\% \times 6.195.200 = 309.760 \text{ Kcal/dia}$$

$$\text{TOTAL: } Q = \underline{6.969.520 \text{ Kcal/dia}}$$

SOMATÓRIO

1 - TRANSMISSÃO DE CALOR ATRAVÉS DAS PAREDES	-	Q = 2.293.320 Kcal/dia
2 - TRANSMISSÃO DE CALOR ATRAVÉS DAS PORTAS	-	Q = 13.569 Kcal/dia
3 - RESFRIAMENTO DO PRODUTO	-	Q = 1.686.643 Kcal/dia
4 - RESPIRAÇÃO DO PRODUTO	-	Q = 3.009.600 Kcal/dia
5 - CARGAS ADICIONAIS	-	Q = 32.458 Kcal/dia
SUB-TOTAL:		Q = 7.035.590 Kcal/dia
6 - DEVIDO VENTILADORES (10%)	-	Q = 703.559 Kcal/dia
SUB-TOTAL:		Q = 7.739.149 Kcal/dia
7 - DEVIDO SEGURANÇA (10%)	-	Q = 773.915 Kcal/dia
8 - TÚNEL DE RESFRIAMENTO À ÁGUA	-	Q = 6.969.520 Kcal/dia
TOTAL:		Q = <u>15.482.584 Kcal/dia</u>

Seja $\tau_{op} = 24 \text{ hrs./dia}$, então:

$$Q_o = 15.482.584/24 = \underline{645.110 \text{ Kcal/h}}$$

O dimensionamento do equipamento frigorífico foi feito na base desta capacidade frigorífica.

5.2.4. Custos Operacionais

Vide Apêndice C.

5.2.5. Custos Fixos

1 - AMORTIZAÇÃO: (Calculada na Tab. 3) Cr\$ 4.346.583,00/Ano

2 - SEGUROS:

Equipamento Frigorífico - Consideramos como sendo 0,25% a.a. do custo de investimento do mesmo.

Custo: Cr\$ 17.039.549,00 (Conforme página 64)

0,25% x 17.039.549,00 Cr\$ 42.599,00/Ano

Câmaras Frigoríficas - Consideramos como sendo 0,15% a.a. do custo de investimento das mesmas.

Custo: Cr\$ 26.090.928,00 (Apêndice D)

0,15% x 26.090.928,00 Cr\$ 39.136,00/Ano

3 - MANUTENÇÃO:

Equipamento Frigorífico - Consideramos como sendo 10% a.a. do custo de investimento do mesmo.

Custo: Cr\$ 17.039.549,00 (Conforme página 64)

10% x 17.039.549,00 Cr\$ 1.703.955,00/Ano

Câmaras Frigoríficas - Consideramos como sendo 1,4% a.a. do custo de investimento das mesmas.

Custo: Cr\$ 26.090.928,00 (Apêndice D)

1,4% x 26.090.928,00 Cr\$ 365.273,00/Ano

TOTAL: Cr\$ 6.497.546,00/Ano

TABELA 3 - Custos Financeiros e Amortizações (*)

Método Separado (Pré-Resfriamento à água)

Carência = 2 anos

Encargos = 18% a.a.

Amortização = 8 anos

Faixa Financiável = 80%

Capital de Investimento:

Equipamento Frigorífico - Cr\$ 17.374.896,00 (Conforme página 64)

Câmaras Frigoríficas - Cr\$ 26.090.928,00 (Apêndice D)

TOTAL - Cr\$ 43.465.824,00

ANO	SALDO DEVENDOR	ENCARGOS	AMORTIZAÇÃO	TOTAL
1	34.772.660	6.259.079	-	6.259.079
2	34.772.660	6.259.079	-	6.259.079
3	34.772.660	6.259.079	4.346.583	10.605.662
4	30.426.077	5.476.694	4.346.583	9.823.277
5	26.079.494	4.694.309	4.346.583	9.040.892
6	21.732.911	3.911.924	4.346.583	8.258.507
7	17.386.328	3.129.539	4.346.582	7.476.121
8	13.039.746	2.347.154	4.346.582	6.693.736
9	8.693.164	1.564.770	4.346.582	5.911.352
10	4.346.582	782.385	4.346.582	5.128.967
TOTAL	-	40.684.012	34.772.660	75.456.672

(*) Conforme o Programa Nacional do Frio (PRONAFRIO)

5.3. Método Separado (Pré-Resfriamento a Ar)

5.3.1. Dimensionamento de um Frigorífico para Maçã

Igual ao item 5.1.1.

5.3.2. Memorial Descritivo do Processo de Armazenamento

5.3.2.1. Colheita da Maçã: Igual ao item 5.1.2.1.

5.3.2.2. Transporte: Igual ao item 5.1.2.2.

5.3.2.3. Recepção da Maçã na "Packinghouse":

Através de uma empilhadeira elétrica as caixas serão retiradas do caminhão e transportadas aos túneis de resfriamento a ar (capacidade total de 9,2 ton/h).

As maçãs serão retiradas manualmente das caixas, arrumadas nas bandejas (de tela) dos carros, e estes conduzidos aos túneis.

5.3.2.4. Classificação:

Após o pré-resfriamento, os carros serão levados até ao classificador (capacidade de 18 ton/h), onde será feita a classificação das maçãs por peso.

5.3.2.4. Armazenamento:

Feito a classificação as maçãs retornarão às caixas de 400 Kg e uma empilhadeira transportará até às câmaras frigorífi

cas. Nestas câmaras se completará o resfriamento da maçã da temperatura média de saída do túnel ($\approx 4,5^{\circ}\text{C}$)* até a temperatura de 0°C , onde nesta temperatura a maçã permanecerá estocada durante 5 meses, ou seja, de maio à setembro.

5.3.2.6. Embalagem: Igual ao item 5.1.2.5.

5.3.3. Carga Térmica Máxima no Final do Carregamento

Foram considerados os seguintes itens:

5.3.3.1. Transmissão de Calor Através das Paredes

Igual à calculada no item 5.1.3.1, ou seja,

$$Q_p = 2.293.320 \text{ Kcal/dia}$$

5.3.3.2. Transmissão de Calor Através das Portas

Igual à calculada no item 5.1.3.2, ou seja;

$$Q_{p0} = 13.569 \text{ Kcal/dia}$$

5.3.3.3. Resfriamento do Produto

Esta carga térmica foi calculada da mesma maneira que a

* Consideramos um abaixamento de temperatura média da maçã até $4,5^{\circ}\text{C}$ devido nesta temperatura termos um arredondamento no tempo de resfriamento, conforme podemos observar na Tabela 1.

do item 5.1.3.3, considerando apenas o abaixamento de temperatura média da maçã de 4,5°C até 0,04°C. Obtemos:

$$Q_R = \underline{1.899.603 \text{ Kcal/dia}}$$

5.3.3.4. Respiração do Produto

Esta carga térmica foi calculada da mesma maneira que a do item 5.1.3.4, considerando apenas o abaixamento de temperatura média da maçã de 4,5°C até 0,04°C. Obtemos:

$$Q_{RP} = \underline{3.030.192 \text{ Kcal/dia}}$$

5.3.3.5. Cargas Adicionais

Igual à calculada no item 5.1.3.5, ou seja,

$$Q_A = \underline{32.458 \text{ Kcal/dia}}$$

SOMATÓRIO

1 - TRANSMISSÃO DE CALOR ATRAVÉS DAS PAREDES	- Q = 2.293.320 Kcal/dia
2 - TRANSMISSÃO DE CALOR ATRAVÉS DAS PORTAS	- Q = 13.569 Kcal/dia
3 - RESFRIAMENTO DO PRODUTO	- Q = 1.899.603 Kcal/dia
4 - RESPIRAÇÃO DO PRODUTO	- Q = 3.030.192 Kcal/dia
5 - CARGAS ADICIONAIS	- Q = 32.458 Kcal/dia
<u>SUB-TOTAL:</u>	Q = 7.269.142 Kcal/dia
6 - DEVIDO VENTILADORES (10%)	- Q = 726.914 Kcal/dia

	SUB-TOTAL:	$Q = 7.996.056 \text{ Kcal/dia}$
7 - DEVIDO SEGURANÇA (10%)	-	$Q = 799.606 \text{ Kcal/dia}$
	<u>TOTAL:</u>	<u>$Q = 8.795.662 \text{ Kcal/dia}$</u>

Seja $\tau_{op.} = 24 \text{ hrs./dia}$, então:

$$Q_o = \frac{8.795.662}{24} = 366.486 \text{ Kcal/h}$$

Capacidade frigorífica do túnel de resfriamento a ar:

$$Q_o = \underline{418.842 \text{ Kcal/h}} \quad (\text{Conforme item 1.8 - Apêndice A})$$

Vem,

CAPACIDADE FRIGORÍFICA TOTAL:

$$Q_o = 366.486 + 418.842 = \underline{778.920 \text{ Kcal/h}}$$

O dimensionamento do equipamento frigorífico foi feito na base desta capacidade frigorífica.

5.3.4. Custos Operacionais

Vide Apêndice C.

5.3.5. Custos Fixos

1 - AMORTIZAÇÃO: (Calculada na Tab. 4) Cr\$ 4.572.888,00/Ano

2 - SEGUROS:

Equipamento Frigorífico - Consideramos como sendo 0,25% a.a.
do custo de investimento do mesmo.

Custo: Cr\$ 19.302.592,00 (Conforme página 66)

0,25% x 19.302.592,00 Cr\$ 48.256,00/Ano

Câmaras Frigoríficas - Consideramos como sendo 0,15% a.a. do custo de investimento das mesmas.

Custo: Cr\$ 26.090.928,00 (Apêndice D)

0,15% x 26.090.928,00 Cr\$ 39.136,00/Ano

3 - MANUTENÇÃO:

Equipamento Frigorífico - Consideramos como sendo 10% a.a. do custo de investimento do mesmo.

Custo: Cr\$ 19.302.592,00 (Conforme página 66)

10% x 19.302.592,00 Cr\$ 1.930.259,00/Ano

Câmaras Frigoríficas - Consideramos como sendo 1,4% a.a. do custo de investimento das mesmas.

Custo: Cr\$ 26.090.928,00 (Apêndice D)

1,4% x 26.090.928,00 Cr\$ 365.273,00/Ano

TOTAL: Cr\$ 6.955.812,00/Ano

TABELA 4 - Custos Financeiros e Amortizações^(*)

Método Separado (Pré-Resfriamento a Ar)

Carência = 2 anos

Encargos = 18% a.a.

Amortização = 8 anos

Faixa Financiável = 80%

Capital de Investimento:

Equipamento Frigorífico - Cr\$ 19.637.939,00 (Conforme página 66)

Câmaras Frigoríficas - Cr\$ 26.090.928,00 (Apêndice D)

TOTAL - Cr\$ 45.728.867,00

ANO	SALDO DEVEDOR	ENCARGOS	AMORTIZAÇÃO	TOTAL
1	36.583.094	6.584.957	-	6.584.957
2	36.583.094	6.584.957	-	6.584.957
3	36.583.094	6.584.957	4.572.888	11.157.845
4	32.010.206	5.761.837	4.572.888	10.334.725
5	27.437.318	4.938.717	4.572.888	9.511.605
6	22.864.430	4.115.597	4.572.886	8.688.483
7	18.291.544	3.292.478	4.572.886	7.865.364
8	13.718.658	2.469.358	4.572.886	7.042.244
9	9.145.772	1.646.239	4.572.886	6.219.125
10	4.572.886	823.119	4.572.886	5.396.005
TOTAL	-	42.802.216	36.583.094	79.385.310

^(*) Conforme o Programa Nacional do Frio (PRONAFRIO)

CUSTOS DE COMERCIALIZAÇÃO

Foi considerado o transporte das maçãs das câmaras frigoríficas (São Joaquim - SC) até o mercado consumidor (CEAGESP - São Paulo).

Temos 8.800.000 Kg de maçãs que logicamente não transportaremos toda essa quantidade devido as perdas por deterioração durante o período de estocagem. Considerando-se que esta perda seja de 1%/mês, transportaremos:

$$8.800.000 \left(1 - \frac{5}{100}\right) = 8.360.000 \text{ Kg ou } 418.000 \text{ caixas (20 Kg/cx.)}$$

Custo do transporte rodoviário: Cr\$ 6.500,00/Viagem (Conforme informação da Cooperativa Agrícola de Cotia)

Cada viagem tem capacidade de aproximadamente 12.000 kg; o que permite um carregamento de 600 caixas (20 Kg/cx.)

Então, o custo do transporte será:

$$418.000 \text{ cxs. } \left(\frac{6.500,00}{600 \text{ cxs.}}\right) = \underline{\text{Cr\$ 4.528.333,00}}$$

RECEITA

Temos 8.800.000 Kg de maçãs que logicamente não conseguiremos vender toda essa quantidade devido as perdas por deterioração durante os 5 (cinco) meses de estocagem. Considerando-se que essa perda seja de 1%/mês, venderemos:

$$8.800 \left(1 - \frac{5}{100}\right) = 8.360.000 \text{ Kg ou } 418.000 \text{ caixas (20 Kg/cx.)}$$

Custo da caixa de 20 Kg = Cr\$ 213,63^(*)

Então,

$$418.000 \text{ cxs.} \times \frac{\text{Cr\$ } 213,63}{\text{cx.}} = \underline{\text{Cr\$ } 89.297.340,00}$$

(*) Preço médio da maçã no mercado do CEAGESP - SP, referente ao mes de outubro de 1977, conforme o Boletim Informativo de 31/10/77 da CEAGESP.

VI RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Túnel de Resfriamento a Ar

6.1.1. Influência da Velocidade do Ar

A Fig. 2 mostra a influência da velocidade do ar sobre o abaixamento de temperatura média da maçã no túnel de resfriamento a ar. Observa-se que o tempo de resfriamento diminui à medida que se eleva a velocidade do ar.

Baseados nos dados do item 1.1 - Apêndice A, mudando-se apenas as velocidades do ar e por conseguinte o tempo de abaixamento da temperatura, dimensionamos e determinamos os Custos Totais Anuais para 3 túneis, cujos resultados mostramos abaixo:

Túnel (1) - Velocidade do ar = 3.658 m/h

- Custo Fixo (Prestação Anual):

Supomos um financiamento de 100% por 8 anos a 10% a.a. , o fator de retorno do capital (CRF) será:

$$CRF = 0,18744 \text{ (ASHRAE, 1976)}$$

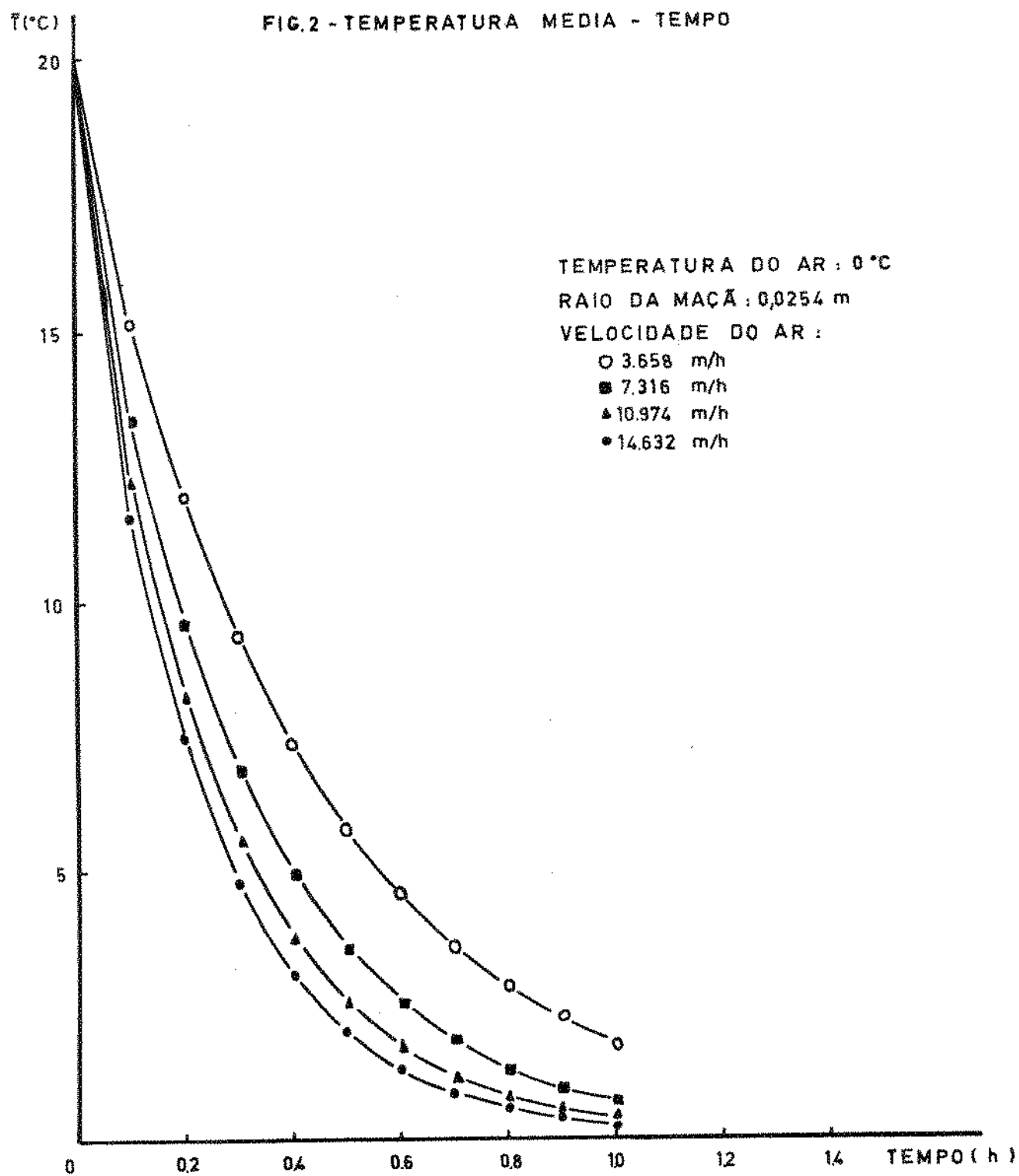
$$\text{Capital de Investimento (Equipamento Frigorífico + Túneis)} = \text{Cr\$ } 19.302.592,00$$

Então,

$$\text{Cr\$ } 19.302.592,00 \times 0,18744 = \text{Cr\$ } 3.618.078,00/\text{Ano}$$

- Custos Variáveis:

FIG.2 - TEMPERATURA MEDIA - TEMPO



. Energia - Cr\$ 1.735.506,00
 . Água - Cr\$ 206.532,00
 . Mão-de-Obra - Cr\$ 652.800,00
 TOTAL - Cr\$ 2.594.838,00/Ano

- CUSTOS TOTAIS ($C_F + C_V$) = Cr\$ 6.212.916,00/Ano

Túnel (2) - Velocidade do ar = 7.316 m/h

- Custo Fixo (Prestação Anual):

Consideramos o mesmo CRF calculado no Túnel (1), ou seja,
 CRF = 0,18744

Capital de Investimento (Equipamento Frigorífico + Tú-
 neis) = Cr\$ 19.793.746,00

Então,

Cr\$ 19.793.746,00 x 0,18744 = Cr\$ 3.710.140,00/Ano

- Custos Variáveis:

. Energia - Cr\$ 1.745.452,00
 . Água - Cr\$ 214.238,00
 . Mão-de-Obra - Cr\$ 668.100,00
 TOTAL - Cr\$ 2.627.790,00

- CUSTOS TOTAIS ($C_F + C_V$) = Cr\$ 6.337.930,00/Ano

Túnel (3) - Velocidade do ar = 14.632 m/h

- Custo Fixo (Prestação Anual):

Consideramos o mesmo CRF calculado no Túnel (1), ou seja,

$$CRF = 0,18744$$

Capital de Investimento (Equipamento Frigorífico + Túneis) = Cr\$ 22.377.967,00.

Então,

$$\text{Cr\$ } 22.377.967,00 \times 0,18744 = \text{Cr\$ } 4.194.526,00/\text{Ano}$$

- Custos Variáveis

. Energia - Cr\$ 1.983.710,00

. Água - Cr\$ 286.678,00

. Mão-de-Obra - Cr\$ 683.400,00

TOTAL - Cr\$ 2.953.788,00

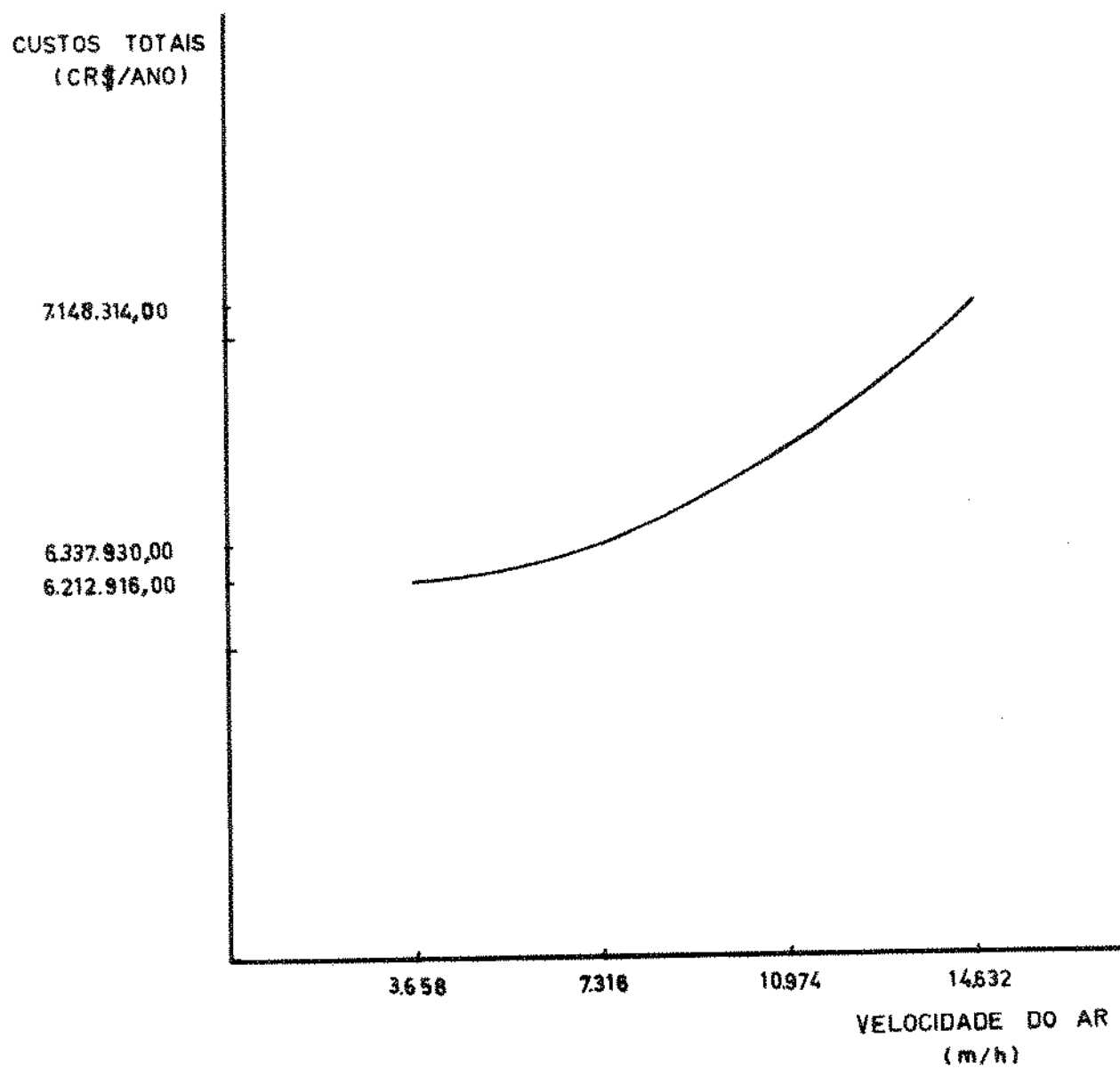
- CUSTOS TOTAIS ($C_F + C_V$) = Cr\$ 7.148.314,00/Ano

Grafamos estes resultados e obtemos a curva da Fig. 3 que nos revela que os Custos Totais Anuais aumentarão com o aumento da velocidade do ar, sendo que a velocidade de 3.658 m/h é a que minimizou esses custos e portanto essa foi a velocidade escolhida para a estimativa do custo de investimento do túnel de resfriamento a ar.

6.1.2. Influência do Diâmetro da Maçã

Baseados nos dados do item 1.1 - Apêndice A, mudando-se apenas a diâmetro da maçã, ou seja, tomamos o diâmetro máximo, dimensionamos e determinamos o custo de investimento de um túnel de resfriamento a ar, encontramos um custo muito próximo da aquele calculado com o diâmetro mínimo, o que significa dizer

FIG. 3 - CUSTOS TOTAIS - VELOCIDADE DO AR NO TÚNEL



que a variação do diâmetro da maçã não irá mudar significativamente o custo de investimento do túnel.

6.2. Custos de Investimento das Câmaras Frigoríficas

Fizemos uma comparação econômica de duas alternativas para a construção das câmaras frigoríficas:

ALTERNATIVA I: O teto das câmaras será de painéis pré-moldados e as paredes serão construídas pelo sistema convencional, ou seja, de alvenaria.

ALTERNATIVA II: As câmaras frigoríficas serão construídas totalmente com painéis pré-moldados.

Conforme resultados mostrados no Apêndice D nos revela que a ALTERNATIVA II é a mais satisfatória economicamente, obtendo-se uma economia de investimento da ordem de Cr\$ 13.703.928,00 relativamente à ALTERNATIVA I, e por conseguinte os custos da ALTERNATIVA II foram considerados na elaboração da comparação econômica dos métodos de resfriamento da maçã.

6.3. Custos de Investimento dos Equipamentos Frigoríficos dos Diferentes Métodos

Nas pgs. 61, 62, 64, 66, mostramos os custos de investimento dos equipamentos frigoríficos do método convencional e do método separado (pré-resfriamento à água e a ar). Observamos

CUSTO DE INVESTIMENTO DO EQUIPAMENTO FRIGORÍFICO^(*)

MÉTODO CONVENCIONAL

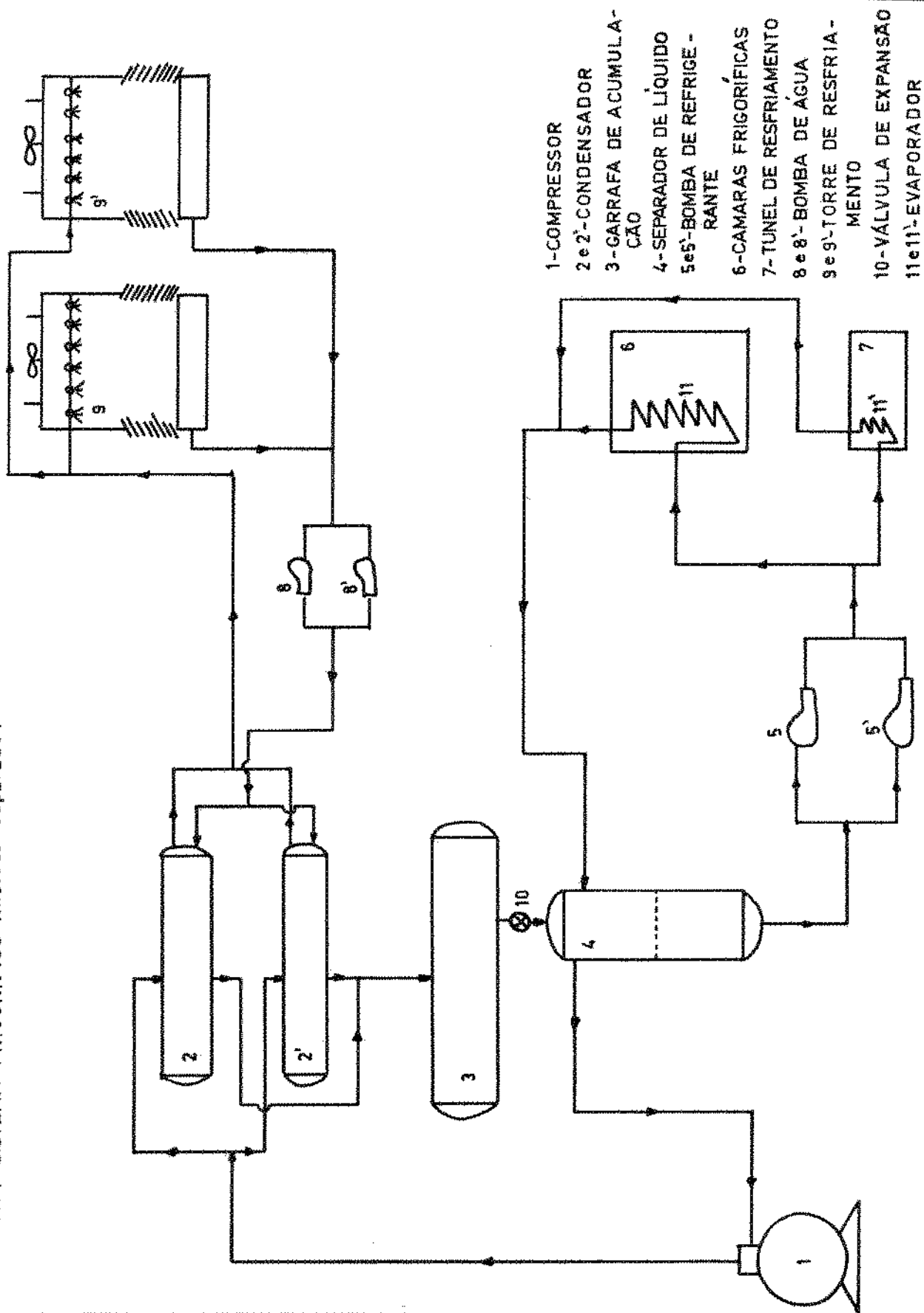
Cr\$

- 1 - Compressor - de êmbolo seco "SULZER", modelo "K-160-2B", $T = -10^{\circ}\text{C}$, $T_c = +30^{\circ}\text{C}$,
 $Q_o = 830.000 \text{ Kcal/h}$, $P_e = 300 \text{ cv}$,
 com controle de capacidade..... 1.102.500,00
Motor - de 12 polos, 580 rpm, $P=350 \text{ cv}$ 400.000,00
- 2 - Condensador - "Shell and Tube" - 2 (duas) uni
 dades de $Q = 555.000 \text{ Kcal/h}$,
 $Q_T = 1.100.000 \text{ Kcal/h}$, $T_{ea} = 24^{\circ}\text{C}$,
 $T_{sa} = 28^{\circ}\text{C}$ 593.000,00
- 3 - Torre de Resfriamento - 2 (duas) unidades,
 $T_{ea} = 28^{\circ}\text{C}$, $T_{sa} = 24^{\circ}\text{C}$, $T_{b.u.} = 21^{\circ}\text{C}$,
 $\dot{V}_{\text{Total}} = 280 \text{ m}^3/\text{h}$, potencia de ca
 da motor do ventilador = 15 cv.... 396.000,00
- 4 - Bomba de Água - tipo centrífuga, 2(duas) unida
 des, vazão de cada bomba = 140
 m^3/h , pressão de cada bomba = 20
 m c.a., $P_m = 14 \text{ cv}$, $P_e = 10,3 \text{ cv}$ 60.000,00
- 5 - Bomba de Amônia - 3(três) unidades, potência
 de cada motor = 3 cv -1(uma) bom
 ba será usada como reserva..... 106.000,00
- 6 - Evaporador - 200 (duzentas) unidades, área de
 cada evaporador = 155 m^2 , 10(dez)

	unidades por câmara, com 4 (quatro)	
	ventiladores por unidade, potência	
	de cada motor = 2 cv.....	19.640.000,00
7 -	<u>Separador de Líquido</u> - vertical, com as seguintes dimensões: D = 1,5 m, C = 3,0 m, volume = 5,31 m ³	84.500,00
8 -	<u>Tubulação</u> -	300.000,00
9 -	<u>Garrafa de Acumulação</u> - horizontal, com as seguintes dimensões: D = 1550 mm , C = 5500 mm, volume útil = 9100 litros.....	195.000,00
10 -	<u>Válvula</u> - (Considerando degêlo com gás quente e processo semi-automático). 1.200 válvulas manuais e 200 válvulas automáticas (solenóide).....	575.000,00
11 -	<u>Amônia</u> - 18.096 Kg.....	220.000,00
12 -	<u>Quadro Elétrico</u>	600.000,00
	<u>SUB-TOTAL:</u>	24.272.500,00
13 -	<u>Montagem e Supervisão</u> - (30%).....	7.101.750,00
	<u>SUB-TOTAL:</u>	31.374.250,00
14 -	<u>Empilhadeira</u> - tipo elétrica, "Clark", modelo TW 33A, capacidade de 1280 Kg.....	335.347,00
	<u>TOTAL</u>	<u>31.709.597,00</u>

(*) Conforme orçamento fornecido pela SULZER DO BRASIL - SP.

FIG.4 - SISTEMA FRIGORÍFICO (método separado)



CUSTO DE INVESTIMENTO DO EQUIPAMENTO FRIGORÍFICOMÉTODO SEPARADO (PRÉ-RESFRIAMENTO À ÁGUA)

Cr\$

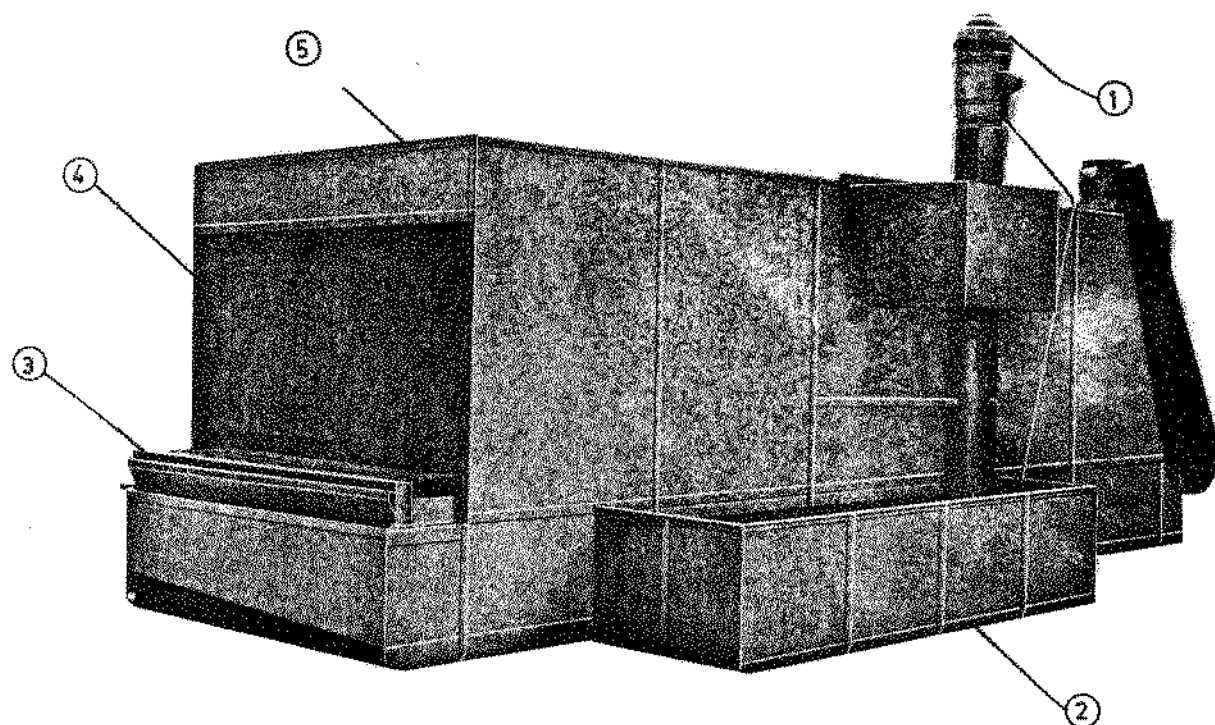
1 - MÉTODO CONVENCIONAL

$Q_o = 818.685 \text{ Kcal/h}$	TOTAL:	31.374.250,00
. Montagem (30%).....		7.101.750,00
s/montagem.....		24.272.500,00
. Evaporadores.....		19.640.000,00
s/evaporadores.....		4.632.500,00

2 - MÉTODO SEPARADO

$Q_o = 354.711 + 290.397 = 645.110 \text{ Kcal/h}$		
. Evaporadores das câmaras frigoríficas		
$19.640.000 \left(\frac{354.711}{818.685} \right) =$		8.509.407,00
. Equipamento Frigorífico (s/evaporadores)....		3.847.942,00
. Evaporadores do Túnel de Resfriamento à Água		
(Na base do preço do condensador).....		200.000,00
. Túnel de Resfriamento à Água - modelo		
"Stericooler", fornecido pela FMC, com		
capacidade para 18 ton/h; inclusive a		
construção civil e hidráulica do tanque		
de resfriamento de água (Fig. 5).....		550.000,00
	SUB-TOTAL:	13.107.349,00
. Montagem (30%).....		3.932.200,00
	TOTAL:	<u>17.039.549,00</u>

FIG.5 - TÚNEL DE RESFRIAMENTO À ÁGUA



- 1 - BOMBA DE ÁGUA
- 2 - TANQUE DE ÁGUA
- 3 - CORREIA TRANSPORTADORA
- 4 - CORTINA DE BORRACHA
- 5 - PAREDE ISOLADA

CUSTO DE INVESTIMENTO DO EQUIPAMENTO FRIGORÍFICO

MÉTODO SEPARADO (PRÉ-RESFRIAMENTO A AR)

1 - MÉTODO CONVENCIONAL

Cr\$

$Q_o = 818.685 \text{ Kcal/h}$	TOTAL:	31.374.250,00
. Montagem (30%).....		7.101.750,00
s/montagem.....		24.272.500,00
. Evaporadores.....		19.640.000,00
s/evaporadores.....		4.632.500,00

2 - MÉTODO SEPARADO

$$Q_o = 366.486 + 418.842 = 785.328 \text{ Kcal/h}$$

. Evaporadores das câmaras frigoríficas

$$19.640.000 \left(\frac{366.486}{818.685} \right) = 8.791.886,00$$

. Equipamento Frigorífico (s/evaporadores).... 4.481.726,00

. Túneis de Resfriamento a Ar (Apêndice B).... 1.574.536,00

SUB-TOTAL: 14.848.148,00

. Montagem (30%)..... 4.454.444,00

TOTAL: 19.302.592,00

que apesar de termos um custo adicional - túnel de resfriamento à água ou túnel de resfriamento a ar - no método separado, é este o método que apresenta os menores custos.

Adotando-se o método separado e o pré-resfriamento sendo feito em túnel de resfriamento à água, os custos ainda são menores do que usando-se o túnel de resfriamento a ar.

6.4. Lucros Obtidos Considerando-se os Diferentes Métodos

Nas Tabelas 5, 6, 7 condensamos todos os custos e lucros para cada método, respectivamente.

Na Fig. 6 grafamos os lucros versus anos para cada método, podemos observar que o método separado usando-se o pré-resfriamento à água é o que apresenta maior rentabilidade em todos os anos considerados, seguindo-se do método separado usando-se pré-resfriamento a ar. Visto isso, em locais onde o suprimento de água é um problema ou em áreas onde a água é muito poluída, poderá se usar o método separado com o pré-resfriamento sendo feito em túnel de resfriamento a ar, pois este ainda será mais economicamente viável do que o método convencional.

TABELA 5 - Custos e Lucros
Método Convencional

ANO	CUSTOS OPERACIO- NAIS	CUSTOS FIXOS			CUSTOS COMERCIA- LIZACAO	CUSTOS FINAN- CEIROS	CUSTOS TOTAIS	RECEITA	LUCROS
		AMORTI- ZACAO	MANUTEN- CAO	SEGUROS					
1	56.000.307	--	3.502.698	117.572	4.528.333	8.323.276	72.472.186	89.297.340	16.825.154
2	56.000.307	-	3.502.698	117.572	4.528.333	8.323.276	72.472.186	89.297.340	16.825.154
3	56.000.307	5.780.054	3.502.698	117.572	4.528.333	8.323.276	78.252.240	89.297.340	11.045.100
4	56.000.307	5.780.054	3.502.698	117.572	4.528.333	7.282.866	77.211.830	89.297.340	12.085.510
5	56.000.307	5.780.052	3.502.698	117.572	4.528.333	6.242.456	76.171.418	89.297.340	13.125.922
6	56.000.307	5.780.052	3.502.698	117.572	4.528.333	5.202.047	75.131.009	89.297.340	14.166.331
7	56.000.307	5.780.052	3.502.698	117.572	4.528.333	4.161.637	74.090.599	89.297.340	15.206.741
8	56.000.307	5.780.052	3.502.698	117.572	4.528.333	3.121.228	73.050.190	89.297.340	16.247.150
9	56.000.307	5.780.052	3.502.698	117.572	4.528.333	2.080.819	72.009.781	89.297.340	17.287.559
10	56.000.307	5.780.052	3.502.698	117.572	4.528.333	1.040.409	70.969.371	89.297.340	18.327.969

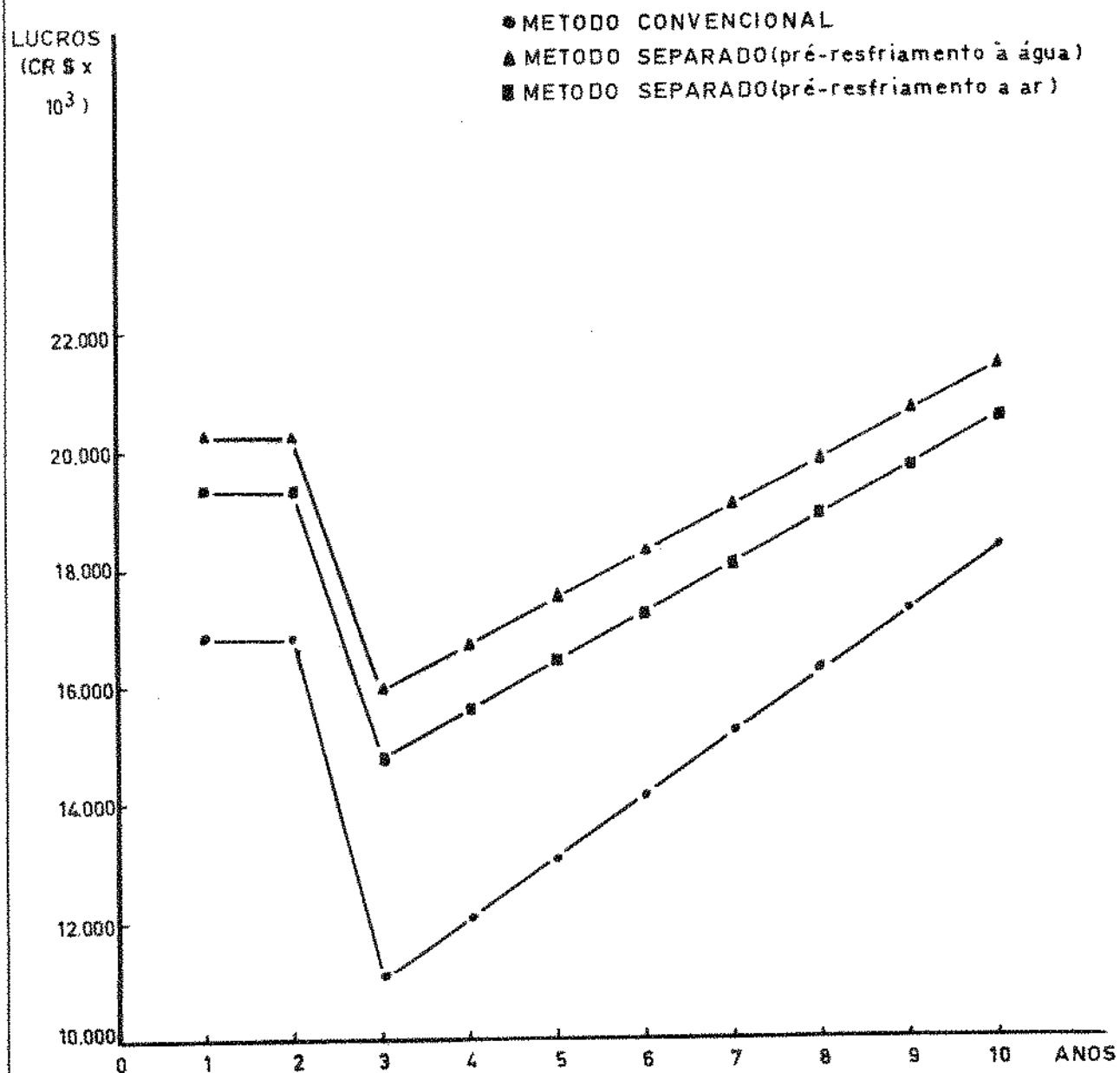
TABELA 6 - Custos e Lucros
Método Separado (Pré-Resfriamento à Água)

ANO	CUSTOS OPERACIO- NAIS	CUSTOS FIXOS			CUSTOS COMERCIA- LIZAÇÃO	CUSTOS FINAN- CEIROS	CUSTOS TOTAIS	RECEITA	LUCROS
		AMORTI- ZAÇÃO	MANUTEN- ÇÃO	SEGUROS					
1	56.060.946	-	2.069.228	81.735	4.528.333	6.259.079	68.999.321	89.297.340	20.298.019
2	56.060.046	-	2.069.228	81.735	4.528.333	6.259.079	68.999.321	89.297.340	20.298.019
3	56.060.946	4.346.583	2.069.228	81.735	4.528.333	6.259.079	73.345.904	89.297.340	15.951.436
4	56.060.946	4.346.583	2.069.228	81.735	4.528.333	5.476.694	72.563.519	89.297.340	16.733.821
5	56.060.946	4.346.583	2.069.228	81.735	4.528.333	4.694.309	71.781.134	89.297.340	17.516.206
6	56.060.946	4.346.583	2.069.228	81.735	4.528.333	3.911.924	70.998.749	89.291.340	18.298.591
7	56.060.946	4.346.583	2.069.228	81.735	4.528.333	3.129.539	70.216.364	89.297.340	19.080.976
8	56.060.946	4.346.583	2.069.228	81.735	4.528.333	2.347.154	69.433.979	89.297.340	19.863.361
9	56.060.946	4.346.583	2.069.228	81.735	4.528.333	1.564.770	68.651.595	89.297.340	20.645.745
10	56.060.946	4.346.583	2.069.228	81.735	4.528.333	782.385	67.869.210	89.297.340	21.428.130

TABELA 7 - Custos e Lucros
Método Separado (Pré-Resfriamento a Ar)

ANO	CUSTOS OPERACIO- NAIS	CUSTOS FIXOS			CUSTOS COMERCIA- LIZACAO	CUSTOS FINAN- CEIROS	CUSTOS TOTAIS	RECEITA	LUCROS
		AMORTI- ZACAO	MANUTEN- CAO	SEGUROS					
1	56.436.805	-	2.295.532	87.392	4.528.333	6.584.957	69.933.019	89.297.340	19.364.321
2	56.436.805	-	2.295.532	87.392	4.528.333	6.584.957	69.933.019	89.297.340	19.364.321
3	56.436.805	4.572.888	2.295.532	87.392	4.528.333	6.584.957	74.505.907	89.297.340	14.791.433
4	56.436.805	4.572.886	2.295.532	87.392	4.528.333	5.761.837	73.682.785	89.297.340	15.614.555
5	56.436.805	4.572.886	2.295.532	87.392	4.528.333	4.938.717	72.859.665	89.297.340	16.437.675
6	56.436.805	4.572.886	2.295.532	87.392	4.528.333	4.115.597	72.036.545	89.297.340	17.260.795
7	56.436.805	4.572.886	2.295.532	87.392	4.528.333	3.292.478	71.213.426	89.297.340	18.083.914
8	56.436.805	4.572.886	2.295.532	87.392	4.528.333	2.469.358	70.390.306	89.297.340	18.907.034
9	56.436.805	4.572.886	2.295.532	87.392	4.528.333	1.646.239	69.567.187	89.297.340	19.730.153
10	56.436.805	4.572.886	2.295.532	87.392	4.528.333	823.119	68.744.067	89.297.340	20.553.273

FIG. 6 - LUCROS - ANOS



6.5. Taxa Interna de Retorno (T.I.R)

Seguindo-se o método recomendado por Leung (28), Park (37), e com os dados das Tabelas 5, 6, 7, sem considerarmos os custos financeiros, determinamos a T.I.R. para cada um dos métodos de resfriamento da maçã:

Método Separado (pré-resfriamento à água)	- T.I.R. = 49%
Método Separado (pré-resfriamento a ar)	- T.I.R. = 45%
Método Convencional	- T.I.R. = 33%

Esses resultados vêm a confirmar a maior rentabilidade do método separado (pré-resfriamento à água) frente ao método separado (pré-resfriamento a ar), e este último mais rentável do que o método convencional.

VII CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho permitiram chegar às seguintes conclusões:

- 1 - Para um grande frigorífico (20 câmaras de armazenamento), o método separado de resfriamento da maçã é mais rentável economicamente do que o método convencional.
- 2 - Entre as alternativas do método separado de resfriamento da maçã, o pré-resfriamento à água é mais vantajoso do ponto de vista econômico do que o pré-resfriamento a ar, embora possa ocorrer alguma contaminação da maçã devido ao mau tratamento da água do túnel de resfriamento à água.
- 3 - A medida que se aumentou a velocidade do ar no túnel de resfriamento a ar, diminuiu o tempo de resfriamento da maçã, entretanto os custos totais anuais aumentaram.
- 4 - A variação do diâmetro da maçã não influiu significativamente no custo de investimento do túnel de resfriamento a ar.

VII SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

As seguintes sugestões podem ser feitas para futuros trabalhos:

- 1 - Fazer um estudo experimental comparativo da qualidade da maçã resfriada pelo método separado, utilizando-se as duas alternativas, pré-resfriamento à água e pré-resfriamento a ar.
- 2 - Estudar o efeito sobre os custos de um túnel de resfriamento a ar, sendo as maçãs pré-resfriadas em caixas paletizadas.
- 3 - Dimensionamento de um novo túnel de resfriamento a ar, contínuo.

APÊNDICES

APÊNDICE A

DIMENSIONAMENTO DE UM TÚNEL DE RESFRIAMENTO A AR

1. DIMENSIONAMENTO DE UM TÚNEL DE RESFRIAMENTO A AR PARA MAÇÃ

1.1. Dados:

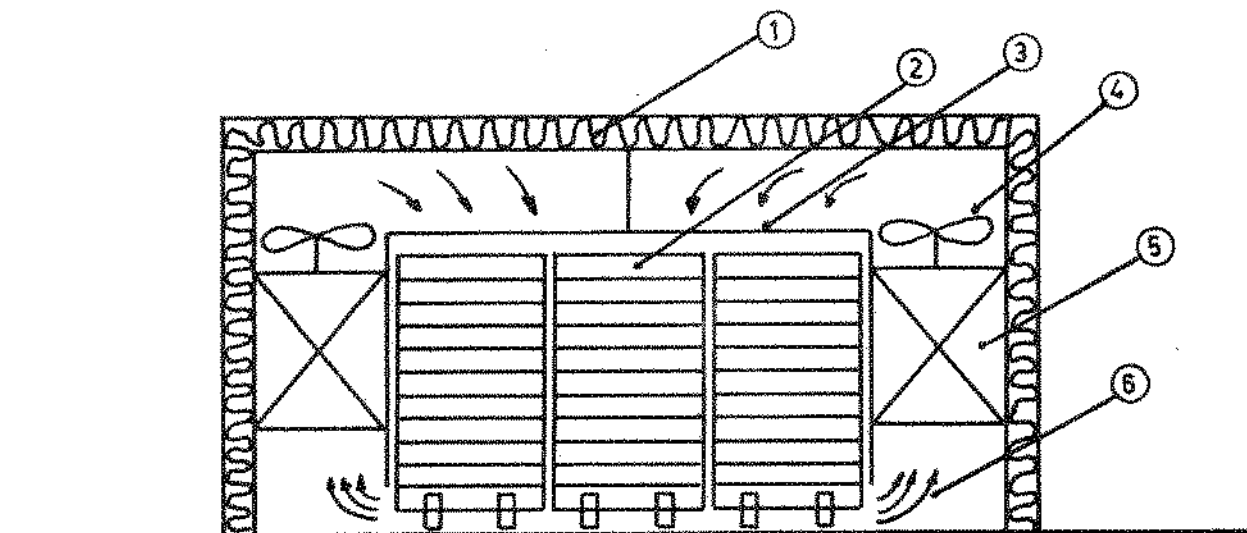
- . O túnel será dimensionado de tal forma que tenha a capacidade de resfriar diariamente (24 hrs.) a mesma quantidade de maçãs coletadas diariamente, ou seja, 440.000 Kg. (Conforme item 5.1.1.)
- . Velocidade do ar no túnel = 3.658 m/h
- . Temperatura do ar = 0°C
- . Diâmetro da maçã = 0,0508 m
- . Tempo necessário para abaixar a temperatura média inicial (20°C) da maçã até $4,5^{\circ}\text{C}$ = 50 minutos.

Obs.: Simulando-se o fenômeno do resfriamento em um computador, encontrou-se um tempo de 40 minutos (Conforme Tabela 1), entretanto devido a temperatura do ar não se manter constante durante todo o processo, considerou-se um tempo maior, ou seja, 50 minutos.

1.2. Dimensões do Carro com Bandejas:

- $C = 1,50 \text{ m}$ ($1,50/0,0508 = 28$ maçãs)
- $L = 0,75 \text{ m}$ ($0,75/0,0508 = 14$ maçãs)
- $H = 1,32 \text{ m}$ - Comportamento 10 bandejas (de tela)
- $d = 0,12 \text{ m}$
- . Quantidade de maçãs por bandeja = $28 \times 14 = 392$

FIG.7 - VISTA SECCIONAL DO TUNEL DE RESFRIAMENTO A AR



- 1 - PAINEL PRÉ-MOLDADO
- 2 - CARRO COM BANDEJAS
- 3 - TETO PERFURADO
- 4 - VENTILADOR
- 5 - EVAPORADOR
- 6 - FLUXO DE AR

- . Quantidade de maçãs por carro = $10 \times 392 = 3.920$
- . Massa de cada maçã = $876,2 \times 4/3 \times 3,14 \times (0,0254)^3 =$
 $= 0,0601 \text{ Kg}$
- . Capacidade de maçãs por carro = $3.920 \times 0,0601 = 236 \text{ Kg}$
- . Considerando-se 5 minutos para o carregamento dos carros dentro do túnel e mais 5 minutos para o descarregamento dos mesmos, teremos então um tempo total para cada batelada de 60 minutos.
- . Número necessários de bateladas = $1440 \text{ min.}/60 \text{ min.} =$
 $= 24/\text{dia}$
- . Capacidade de maçãs por batelada = $440.000 \text{ Kg}/24 =$
 $= 18.334 \text{ Kg}$

Afim de se aproveitar melhor a mão-de-obra dos operários, consideraremos dois túneis de iguais dimensões, pois assim sendo, durante o período de resfriamento (50 min.) da batelada de um túnel, todos os operários estarão empenhados no descarregamento e recarregamento da batelada do outro túnel. Então, cada túnel terá bateladas de 9.200 Kg.

- . Quantidade necessária de carros por túnel = $9.200/236=39$
 Consideramos o túnel comportando 3 carros na largura e 13 carros no comprimento.

1.3. Dimensões do Túnel:

$$C_t = 13 \times 1,50 = 20 \text{ m}$$

$$L_t = (3 \times 0,75) + (2 \times 0,80) = 4 \text{ m}$$

$$H_t = 1,32 + 0,6 = 2 \text{ m}$$

1.4. Área Total (Externa):

Obs.: Os túneis serão construídos de painéis pré-moldados de 4" de espessura, sendo esta a espessura geralmente usada para câmaras a 0°C.

$$\text{Teto} - 20,2 \times 4,2 = 84,84 \text{ m}^2$$

$$\text{Laterais} - 2 (20 \times 2) = 80 \text{ m}^2$$

$$\text{Frontais} - 2 (4,2 \times 2) = 16,8 \text{ m}^2$$

$$\text{TOTAL} - \underline{182 \text{ m}^2}$$

1.5. Tempo Gasto para Cada Operação e Pessoas Necessárias Para Operar os Túneis:

. Cada túnel terá a capacidade de receber 39 carros de cada vez, assim sendo, necessitamos de 78 carros, afim de que, enquanto 39 estiverem dentro do túnel, os outros 39 estarão sendo descarregados e recarregados.

. Tempo para colocação dos 39 carros dentro do túnel = 5 minutos

Tempo para retirada dos 39 carros = 5 minutos

. Durante o período de resfriamento (50 min.) duas tarefas serão efetuadas:

1 - Descarregamento dos carros - 25 minutos

2 - Recarregamento dos carros - 25 minutos

. Considerando-se que 1 pessoa descarregue e recarregue

uma bandeja (392 maçãs) em 3 min., teremos que descarregar e recarregar 1,6 carros. Como são 39 carros, teremos que, $39/1,6 = 24$ pessoas serão necessárias para operar cada túnel. Considerando turnos de 8 hrs/dia, teremos que, serão necessárias 72 pessoas para operar cada túnel.

Portanto, para a operação dos dois túneis serão necessárias 144 pessoas.

1.6. Dimensionamento dos Ventiladores do Túnel:

1.6.1. Perda de Pressão Estática nos Carros, Evaporadores, Dutos, Teto Falso Perfurado e Mudanças de Direção do Ar.

- Carros

. Dados: C = 1,50 m

L = 0,75 m

H = 1,20 m

D = 0,0508 m

$V_F = 3.658 \text{ m/h} = 1,0 \text{ m/s}$

$\mu = 0,0622 \text{ Kg/mh}$

$\rho = 1,2504 \text{ Kg/m}^3 = \frac{1,2504 \text{ Kg f s}^2}{\text{m}^3 \cdot 9,81 \text{ m}} = 0,1274 \frac{\text{Kg f s}^2}{\text{m}^4}$

. Cálculo do nº de Reynolds:

$$R_e = \frac{\rho \cdot D \cdot V_F}{\mu} = \frac{1,2504 \times 0,0508 \times 3658}{0,0622} = 3.736$$

. Cálculo da Porosidade (ϵ):

$$V_{ap} = 1,50 \times 0,75 \times 1,20 = 1,35 \text{ m}^3$$

$$V_r = 4/3 \times 3,1416 \times (0,0254)^3 \times 3.920 = 0,26 \text{ m}^3$$

$$V_i = V_{ap} - V_r = 1,35 - 0,26 = 1,09 \text{ m}^3$$

$$\epsilon = 1,09/1,35 = 0,80$$

Eckert (13), cita a seguinte relação para o cálculo da perda de pressão em leito empacotado não fluidizado de altura H e consistindo de partículas esféricas com diâmetro D:

$$\frac{\Delta p}{H} = \frac{D}{\rho V_F^2} \frac{\epsilon^3}{1-\epsilon} = 150 \frac{(1-\epsilon)}{Re} + 1,75$$

Apesar de não termos um leito empacotado, usamos a equação acima como uma boa aproximação.

$$Vem, \Delta p = \frac{1,20 \times 0,1274 \times (1)^2 \times (1-0,8)}{0,0508 \times (0,8)^3} \left(\frac{150(1-0,8)}{3.736} + 1,75 \right)$$

$$\underline{\Delta p_c = 2 \text{ Kg/m}^2}$$

Obs.: O efeito das telas das bandejas não foi considerado devido as cavidades das mesmas serem muito grande e portanto não causando perda de pressão apreciável.

- Evaporadores, dutos, teto falso perfurado e mudanças de direção do ar:

Consideramos uma perda de pressão de $\underline{\Delta p_{em} = 10 \text{ Kg/m}^2}$

$$\underline{\Delta p_{EST.} = \Delta p_c + \Delta p_{em} = 12 \text{ Kg/m}^2}$$

1.6.2. Vazão do Ventilador

$$\dot{V}_{Total} = V_F \times A_I = 3658 \times (20 \times 4) = 292.640 \text{ m}^3/\text{h}$$

Considerando-se 20 ventiladores axiais, teremos co
mo vazão de cada ventilador - $\dot{V}_V = 15.000 \text{ m}^3/\text{h}$

Com esses dados, ou seja, a perda de pressão estáti
ca e a vazão do ventilador, selecionamos através de
Curvas Características de Desempenho de Ventiladore
res (da OTAM S.A. VENTILADORES INDUSTRIAIS), o se
guinte ventilador:

Modelo A - 600

Diâmetro = 600 mm

Rotação = 1750 r.p.m

$P_e = 2,6 \text{ cv}$

$\eta = 0,73$

1.7. Cálculo da Área de Troca de Calor dos Evaporadores do Tú- nel:

$Q_o = 209.421 \text{ Kcal/h}$ (Calculada no ítem 1.8)

$\Delta t = 10^\circ\text{C}$ (3)

$U = 15 \text{ Kcal/hm}^2\text{C}$ (3)

Então,

$$A_E = \frac{209.421}{10 \times 15} = 1.396 \text{ m}^2$$

1.8. Capacidade Frigorífica do Túnel:

1.8.1. Resfriamento do Produto e dos Carros

Produto: $m = 9.200 \text{ Kg}/50 \text{ min.}$ (Cada batelada)

$$C_p = 0,866 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C} \text{ (Determinado conforme Equação (3))}$$

$$\Delta t = \bar{t}_i - \bar{t}_f = 20 - 4,5 = 15,5^{\circ}\text{C}$$

Conforme informações da Estação Meteorológica de São Joaquim (SC), a temperatura média ambiente registrada nos meses de março e abril de cada ano é de $16,5^{\circ}\text{C}$, consideramos então que a maçã colhida do pomar tivesse uma temperatura média um pouco maior do que a temperatura média ambiente, ou seja, 20°C .

$$Q_o = 9.200 \times 0,866 \times 15,5 \times 60/50 = 148.190 \text{ Kcal/h}$$

Carros: $m = 39 \text{ (carros)} \times 128 \text{ Kg} = 4.992 \text{ Kg}$ (Aço Inoxidável)

$$C_p = 0,11 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C} \quad (27)$$

$$\Delta t = 15,5^{\circ}\text{C}$$

$$Q_o = 4.992 \times 0,11 \times 15,5 \times 60/50 = 10.214 \text{ Kcal/h}$$

1.8.2. Respiração do Produto

$$\bar{t} = 20^{\circ}\text{C} - Q_{\text{RM}} = 0,0850 \text{ Kcal/hKg}$$

$$\bar{t} = 4,5^{\circ}\text{C} - Q_{\text{RM}} = 0,0205 \text{ Kcal/hKg}$$

$$Q_o = 9.200 \times \frac{0,0850 + 0,0205}{2} = 490 \text{ Kcal/h}$$

1.8.3. Transmissão de Calor Através das Paredes

$$A \text{ (área total externa do túnel)} = 182 \text{ m}^2$$

$$\Delta t = \bar{t}_e - t_c = 16,5 - 0 = 16,5^{\circ}\text{C}$$

Conforme informações da Estação Meteorológica de São Joaquim (SC), a temperatura média ambiente registrada nos meses de março e abril de cada ano é de $16,5^{\circ}\text{C}$.

$$U = 0,25 \text{ Kcal/hm}^2\text{C}^{\circ} \text{ (Painél pré-moldado de 100 mm de espessura e } K=0,025 \text{ Kcal/hm}^2\text{C}^{\circ})$$

Conforme catálogo de isolantes da Plásticos Tupiniquim S.A.)

$$Q_o = 182 \times 0,25 \times 16,5 = 750 \text{ Kcal/h}$$

1.8.4. Transmissão de Calor Através da Porta

$$V_T = 20 \times 4 \times 2 = 160 \text{ m}^3$$

$$H_i = 6,66 \text{ Kcal/Kg (P}_b \text{ 647 mm Hg - ar a } 0^{\circ}\text{C e 90\% de U.R.)}$$

$$H_e = 14,97 \text{ Kcal/Kg } (P_b \text{ 647 mm Hg - ar a } 16,5^{\circ}\text{C e } 81,85\% \text{ de U.R.})$$

$$v = 1/0,904 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$n = 24$$

O número de trocas de ar por dia do túnel foi considerada como sendo igual ao número de descarregamento do túnel por dia, ou seja, 24.

$$Q_o = 160 \times 24 (14,97 - 6,66) 1/0,904 \times 1/24 = 1.470 \text{ Kcal/h}$$

1.8.5. Transmissão de Calor Devido os Motores dos Ventiladores

$$P_e = 2,6 \text{ cv (Conforme catálogo da OTAM S.A. - VENTILADORES INDUSTRIAIS)}$$

$$\eta = 0,73$$

$$P_r = 2,6/0,73 = 3,5 \text{ cv}$$

$$P_r \times 632 = 3,5 \times 632 = 2.210 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_o = 20 \text{ (ventiladores)} \times 2.210 = 44.200 \text{ Kcal/h}$$

SOMATÓRIO

1 - RESFRIAMENTO DO PRODUTO E DOS CARROS	- $Q_o = 158.404 \text{ Kcal/h}$
2 - RESPIRAÇÃO DO PRODUTO	- $Q_o = 490 \text{ Kcal/h}$
3 - TRANSMISSÃO DE CALOR ATRAVÉS DAS PAREDES	- $Q_o = 750 \text{ Kcal/h}$
4 - TRANSMISSÃO DE CALOR ATRAVÉS DA PORTA	- $Q_o = 1.470 \text{ Kcal/h}$

5 - TRANSMISSÃO DE CALOR DEVIDO OS MOTORES

DOS VENTILADORES

$$- Q_o = 44.200 \text{ Kcal/h}$$

$$\text{SUB-TOTAL: } Q_o = 205.314 \text{ Kcal/h}$$

6 - DESCONGELAMENTO DO TÚNEL (2%)

$$- Q_o = 4.107 \text{ Kcal/h}$$

$$\text{TOTAL: } Q_o = \underline{209.421 \text{ Kcal/h}}$$

Como utilizaremos dois túneis, então teremos uma capacidade frigorífica total de $Q_o = \underline{\underline{418.842 \text{ Kcal/h}}}$

APÊNDICE B

CUSTO DE INVESTIMENTO DO TÚNEL DE RESFRIAMENTO A AR

CUSTO DE INVESTIMENTO DO TÚNEL DE RESFRIAMENTO A AR

1. Base (placa): O piso será de concreto com uma espessura de 10 cm e não foi considerado isolamento.

Quantidade necessária de concreto:

$$\text{Piso} - 20 \times 4 \times 0,1 = 8 \text{ m}^3$$

$$\text{Sapata} - 0,30 \times 0,40 \times 48 = 5,76 \text{ m}^3$$

$$\text{TOTAL} - 13,76 \text{ m}^3$$

Custo do concreto:

Cr\$ 1.000,00/m³ (Dado colhido nas revistas "CONSTRUÇÃO SÃO PAULO, dos meses de maio e junho de 1978)

Custo da Base:

$$13,76 \text{ m}^3 \times \text{Cr\$ } 1.000,00/\text{m}^3 = \underline{\text{Cr\$ } 13.760,00}$$

2. Paredes e Teto: De painéis pré-moldados (STYROPAINÉIS), 4" de espessura - Fornecidos pela Plásticos Tupiniquim S.A.

$$\text{Custo: Cr\$ } 1.041,90/\text{m}^2$$

$$\text{Paredes} - 2 (20,2 \times 2) + (4,2 \times 2) + 2 (0,85 \times 2) = 92,60 \text{ m}^2$$

$$\text{Teto} - 20,2 \times 4,2 = 84,84 \text{ m}^2$$

$$\text{TOTAL} - 178 \text{ m}^2$$

Custo das Paredes e Teto:

$$178 \text{ m}^2 \times \text{Cr\$ } 1.041,90/\text{m}^2 = \underline{\text{Cr\$ } 185.458,00}$$

3. Placa de Alumínio: Espessura - 1,0 mmCusto: Cr\$ 90,00/m²

$$2,40 \times 20 = 48 \text{ m}^2$$

$$2 (1,20 \times 20) = 48 \text{ m}^2$$

$$0,65 \times 20 = 13 \text{ m}^2$$

$$\text{TOTAL} - 109 \text{ m}^2$$

Custo das Placas:

$$109 \text{ m}^2 \times \text{Cr\$ } 90,00/\text{m}^2 = \underline{\text{Cr\$ } 9.810,00}$$

4. Porta Frigorífica: Correr manual, 1 (uma) folha, de fibra de vidro (2500 x 2000 x 100 mm) - Fornecida pela Plásticos Tupiniquim S.A.Custo da Porta: Cr\$ 53.300,005. Estrutura Metálica: Para sustentação dos painéis pré-moldados - Fornecida pela ALUFER S.A.Custo da Estrutura: Cr\$ 45.000,006. Evaporadores: Tipo serpentina, aletado - Fornecido pela SULZER DO BRASIL.Custo: Cr\$ 265,00/m²

Conjunto moto-ventilador - Fornecido pela OTAM S.A. VENTILADORES INDUSTRIAIS.

Custo: Cr\$ 5.500,00

$$1396 \text{ m}^2 \times \text{Cr\$ } 265,00/\text{m}^2 = \text{Cr\$ } 369.940,00$$

$$20 (\text{ventiladores}) \times \text{Cr\$ } 5.500,00 = \text{Cr\$ } 110.000,00$$

$$\text{TOTAL} - \text{Cr\$ } 479.940,00$$

Custo dos Evaporadores: Cr\$ 479.940,00

SOMATÓRIO

	Cr\$
1 - Base (placa)	13.760,00
2 - Paredes e Teto	185.458,00
3 - Placas de Alumínio	9.810,00
4 - Porta Frigorífica	53.300,00
5 - Estrutura Metálica	45.000,00
6 - Evaporadores	<u>479.940,00</u>
TOTAL	787.268,00

Como usaremos dois túneis de iguais dimensões, teremos um custo total de investimento da ordem de Cr\$ 1.574.536,00.

APÊNDICE C

CUSTOS OPERACIONAIS

1. CUSTOS OPERACIONAIS (MÉTODO CONVENCIONAL)

1.1. Consumo de Energia Elétrica (Motores dos ventiladores: evaporadores, torres de resfriamento - Motores: compressor, bombas de água e amônia, empilhadeira)

1.1.1. Equipamento Frigorífico

a) Carregamento do Produto (Considerou-se que ocorreu em 20 dias - No 1º dia a carga térmica terá um valor mínimo e no último dia um valor máximo)

1º dia:

Transmissão de calor através das paredes

Calculada em 5.1.3.1. $Q = 114.666 \text{ Kcal/dia}$

Transmissão de calor através das portas

Calculada em 5.1.3.2. $Q = 13.569 \text{ Kcal/dia}$

Resfriamento do produto e caixas

Produto-Calculada em 5.1.3.3

$Q = 2.571.008 \text{ Kcal/dia}$

Caixas-Consideramos como sendo 10% da carga do produto

$Q = 257.100 \text{ Kcal/dia}$

Respiração do produto

Calculada em 5.1.3.4. $Q = 692.736 \text{ Kcal/dia}$

Cargas Adicionais

Calculada em 5.1.3.5. $Q = 32.458 \text{ Kcal/dia}$

Devido Ventiladores

Consideramos como vazão dos ventiladores em uma câmara 50 vezes o volume da mesma por hora e uma perda de carga total de 20 mm c.a.

$$\frac{123.000 \text{ m}^3/\text{h} \times 20 \text{ mm c.a.}}{3600 \times 102 \times 0,7 \times 0,85} = 11,26 \text{ Kw}$$

$$Q = 230.000 \text{ Kcal/dia}$$

$$\text{SUB-TOTAL: } Q = 3.911.537 \text{ Kcal/dia}$$

Segurança (10%)

$$Q = 391.154 \text{ Kcal/dia}$$

$$\text{TOTAL: } Q = 4.302.691 \text{ Kcal/dia}$$

$$Q_o = 4.302.691/24 = 179.280 \text{ Kcal/h}$$

§ Cálculo da potência no eixo do compressor (P_{ec}) para esta capacidade frigorífica:

Característica do compressor: $Q_o = 830.000 \text{ Kcal/h}$ e $P_{ec} = 300 \text{ Hp}$
(Conforme a SULZER DO BRASIL).

Consideramos que 20% desta capacidade frigorífica máxima irá corresponder a 40% da P_{ec} , ou seja, $Q_o = 20\% \times 830.000 = 166.000 \text{ Kcal/h}$ - $P_{ec} = 40\% \times 300 = 120 \text{ Hp}$ (19)

Em um gráfico ($Q_o \times P_{ec}$) determinamos os parâmetros da reta que interceptará esses dois pontos:

$$x_1 = 830.000 \text{ Kcal/h}$$

$$y_1 = 300 \text{ Hp}$$

$$x_2 = 166.000 \text{ Kcal/h}$$

$$y_2 = 120 \text{ Hp}$$

$$y = ax + b$$

$$a = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} = \frac{300 - 120}{830.000 - 166.000} = 0,00027$$

$$b = y_1 - x_1 (0,00027) = 300 - 830.000 (0,00027) = 75,9$$

Encontrado os parâmetros da reta, determinamos a P_{ec} correspondente a capacidade frigorífica necessária no 1º dia de carregamento do produto:

$$P_{ec} = 0,00027 (179.280) + 75,9 = 124 \text{ Hp}$$

$$\eta = 0,95 \quad (19)$$

$$P_r = 124/0,95 = 130 \text{ Hp}$$

20º dia:

Transmissão de calor através das paredes

Considerando que todas as outras câmaras já estejam à temperatura de 0°C e calculando-se da mesma maneira que em 5.1.3.1, obtemos: $Q = 1.476.580 \text{ Kcal/dia}$

Transmissão de calor através das portas

Calculada em 5.1.3.2. $Q = 13.569 \text{ Kcal/dia}$

Resfriamento do produto e caixas

Produto - Calculada em 5.1.3.3.

$$Q = 7.728.512 \text{ Kcal/dia}$$

Caixas - Consideramos como sendo 10% da carga do produto $Q = 772.851 \text{ Kcal/dia}$

Respiração do produto

$$\text{Calculada em 5.1.3.4.} \quad Q = 4.044.480 \text{ Kcal/dia}$$

Cargas Adicionais

Calculada em 5.1.3.5. $Q = 32.458 \text{ Kcal/dia}$

Devido Ventiladores

Consideramos que a partir do 5º dia de carregamento se desligaria a cada dia a metade dos ventiladores de 1 câmara, assim sendo, no 20º dia teremos:

$$(5 \times 230.000) + (15 \times 230.000 / 2) = Q = 2.875.000 \text{ Kcal/dia}$$

$$\text{SUB-TOTAL: } Q = 16.943.450 \text{ Kcal/dia}$$

$$\text{Segurança (10\%)} \quad Q = 1.694.345 \text{ Kcal/dia}$$

$$\text{TOTAL: } Q = 18.637.795 \text{ Kcal/dia}$$

$$Q_o = 18.637.795 / 24 = 776.575 \text{ Kcal/h}$$

A potência no eixo do compressor para esta capacidade frigorífica foi calculada através do mesmo procedimento usado para a capacidade frigorífica do 1º dia de carregamento.

$$P_{ec} = 286 \text{ Hp}$$

$$\eta = 0,95 \quad (19)$$

$$P_r = 286 / 0,95 = 301 \text{ Hp}$$

CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DURANTE O CARREGAMENTO:

- Motor do Compressor:

$$(130 + 301) / 2 \text{ Hp} \times 24 \text{ hrs./dia} \times 20 \text{ dias} \times 0,7457 \text{ Kw} = 77.135 \text{ Kwh}$$

- Motores:

Obs.: As potências nos eixos dos motores nos foram fornecidas pela SULZER DO BRASIL.

Ventilador da torre de resfriamento:

$$P_e = 11,5 \text{ cv} - \eta = 0,88 \quad (19)$$

$$P_r = 11,5/0,88 = 13,06 \text{ cv} = 9,73 \text{ Kw, como são dois motores, vem:$$

$$2 \times 9,73 = 19,46 \text{ Kw}$$

Bomba de água: $P_e = 10,3 \text{ cv} - \eta = 0,87 \quad (19)$

$$P_r = 10,3/0,87 = 11,83 \text{ cv} = 8,82 \text{ Kw, como são dois motores, vem:$$

$$2 \times 8,82 = 17,64 \text{ Kw}$$

Bomba de amonia: $P_e = 2,3 \text{ cv} - \eta = 0,85 \quad (19)$

$$P_r = 2,3/0,85 = 2,7 \text{ cv} = 2,01 \text{ Kw, como são dois motores, vem:$$

$$2 \times 2,01 = 4,02 \text{ Kw}$$

$$P_r \text{ (total)} = 41,12 \text{ Kw}$$

$$41,12 \text{ Kw} \times 24 \text{ hrs./dia} \times 20 \text{ dias} = 19.738 \text{ Kwh}$$

- Motores: ventiladores dos evaporadores:

Consideramos que a partir do 5º dia de carregamento se desligaria a cada dia a metade dos ventiladores de 1 câmara. O consumo de energia será igual ao somatório do consumo dos 20 dias, ou seja, 40.114 Kwh

TOTAL: 136.987 Kwh

b) Estocagem do Produto (5 meses: maio a setembro)

Transmissão de calor através das paredes

No período do carregamento quando a temperatura externa é 16,52 °C, temos a carga térmica

$Q = 1.476.580$ Kcal/dia, entretanto no período da estocagem a temperatura externa é 11,19 °C e portanto a carga térmica será:

$$1.476.580 \frac{11,19}{16,52} = Q = 1.000.178 \text{ Kcal/dia}$$

Transmissão de calor através das portas

Calculada da mesma maneira que em 5.1.3.1, entretanto com as seguintes considerações: 1 troca de ar por dia, entalpia e volume específico do ar externo foram retificadas para a temperatura de 11,19 °C, obtemos:

$$1 \times \frac{2.460,15}{0,955} (11,22 - 6,66) = 11.747 \text{ Kcal/dia}$$

Usando-se uma cortina de ar:

$$20\% \times 11.747 = 2.350 \text{ Kcal/dia}$$

Consideramos que a porta de cada câmara será aberta diariamente para verificação do produto, então:

$$20 \text{ (câmaras)} \times 2.350 = Q = 47.000 \text{ Kcal/dia}$$

Respiração do produto

No período de estocagem todo o produto estará a

temperatura de 0°C e portanto gerando um calor de res
piração de $0,0136 \text{ Kcal/hKg}$

$$8.800.000 \times 0,0136 \times 24 = Q = 2.872.320 \text{ Kcal/dia}$$

Cargas Adicionais

. Lâmpadas, serão utilizadas apenas 2 hrs./dia

$$6.045 \times 2/6 = 2.015 \text{ Kcal/dia}$$

$$20 \text{ (câmaras)} \times 2.015 = Q = 40.300 \text{ Kcal/dia}$$

. Pessoas, serão utilizadas apenas em 2 hrs./dia

$$1.800 \times 2/6 = 600 \text{ Kcal/dia}$$

$$20 \text{ (câmaras)} \times 600 = Q = 12.000 \text{ Kcal/dia}$$

Ventiladores

Consideramos que no período de estocagem se desliga
ria a metade dos ventiladores.

$$20 \text{ (câmaras)} \times 230.000/2 = Q = 2.300.000 \text{ Kcal/dia}$$

$$\text{SUB-TOTAL: } Q = 6.271.798 \text{ Kcal/dia}$$

$$\text{Segurança (10\%)} \quad Q = 627.180 \text{ Kcal/dia}$$

$$\text{TOTAL: } Q = 6.898.980 \text{ Kcal/dia}$$

$$Q_o = 6.898.980/24 = 287.457 \text{ Kcal/h}$$

$$P_{ec} = 153 \text{ Hp (Calculada da mesma maneira que em 1.1.1.a)}$$

$$\eta = 0,95 \text{ (19)}$$

$$P_r = 153/0,95 = 161 \text{ Hp}$$

CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DURANTE A ESTOCAGEM

- Motor do Compressor:

$$161 \text{ Hp} \times 24 \text{ hrs./dia} \times 150 \text{ dias} \times 0,7457 \text{ Kw} = 432.208 \text{ Kwh}$$

- Motores: ventiladores das torres de resfriamento, bombas de água e amônia.

$$41,12 \text{ Kw} \times 24 \text{ hrs./dia} \times 150 \text{ dias} = 148.032 \text{ Kwh}$$

- Motores: ventiladores dos evaporadores

Consideramos que no período de estocagem se desligaria a meta de dos ventiladores, então:

$$20 \text{ (câmaras)} \times 230.000/2 = 2.300.000 \text{ Kcal/dia}$$

$$2.300.000/860 = 2.675 \text{ Kwh/dia}$$

$$2.675 \text{ Kwh/dia} \times 150 \text{ dias} = 401.250 \text{ Kwh}$$

$$\text{TOTAL: } \underline{\underline{401.250 \text{ Kwh}}}$$

- c) Descarregamento do Produto (Considerou-se que ocorreu em 20 dias)

Transmissão de calor através das paredes

Carga térmica igual a do 20º dia de carregamento

$$Q = 1.476.580 \text{ Kcal/dia}$$

Transmissão de calor através das portas

$$\text{Calculada em 5.1.3.2.} \quad Q = 13.569 \text{ Kcal/dia}$$

Respiração do produto

Consideramos como sendo igual a metade da carga térmica devido a respiração durante a estocagem:

$$Q = 1.436.160 \text{ Kcal/dia}$$

Cargas Adicionais

$$\text{Calculada em 5.1.3.5.} \quad Q = 32.458 \text{ Kcal/dia}$$

UNICAMP
FACULDADE DE ENGENHARIA

Devido Ventiladores

Igual a carga térmica devido os ventiladores durante
a estocagem.

$$Q = 2.300.000 \text{ Kcal/dia}$$

$$\text{SUB-TOTAL: } Q = 5.258.767 \text{ Kcal/dia}$$

Segurança (10%)

$$Q = 525.877 \text{ Kcal/dia}$$

$$\text{TOTAL: } Q = 5.784.644 \text{ Kcal/dia}$$

$$Q_o = 5.784.644/24 = 241.027 \text{ Kcal/h}$$

$$P_{ec} = 141 \text{ Hp (Calculada da mesma maneira que em 1.1.1.a)}$$

$$\eta = 0,95 \text{ (19)}$$

$$P_r = 141/0,95 = 148 \text{ Hp}$$

CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DURANTE O DESCARREGAMENTO

- Motor do Compressor:

$$148 \text{ Hp} \times 24 \text{ hrs./dia} \times 20 \text{ dias} \times 0,7457 \text{ Kw} = 52.975 \text{ Kwh}$$

- Motores: ventiladores das torres de resfriamento, bombas de
água e amônia.

$$41,12 \text{ Kw} \times 24 \text{ hrs./dia} \times 20 \text{ dias} = 19.738 \text{ Kwh}$$

- Motores: ventiladores dos evaporadores

$$20 \text{ (câmaras)} \times 230.000/2 = 2.300.000 \text{ Kcal/dia}$$

$$2.300.000/860 = 2.675 \text{ Kwh/dia}$$

$$2.675 \text{ Kwh/dia} \times 20 \text{ dias} = 53.500 \text{ Kwh}$$

$$\text{TOTAL: } \underline{\underline{126.213 \text{ Kwh}}}$$

1.1.2. Empilhadeira Elétrica

$$P_r = 4,77 \text{ Kw}$$

$$4,77 \text{ Kw} \times 6 \text{ hrs./dia} \times (20 + 20) \text{ dias} = \underline{\underline{1.145 \text{ Kwh}}}$$

CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DURANTE TODA A OPERAÇÃO:

- Carregamento do Produto.....	136.987 Kwh
- Estocagem do Produto.....	981.490 Kwh
- Descarregamento do Produto.....	126.213 Kwh
- Empilhadeira Elétrica.....	1.145 Kwh
<u>TOTAL:</u>	<u>1.245.835 Kwh</u>

§ Custo de 1 Kwh = Cr\$ 1,33 (Conforme informação da Companhia
Paulista de Força e Luz - Campinas)

Custo Total de Energia:

$$1.245.835 \text{ Kwh} \times \frac{\text{Cr\$ } 1,33}{\text{Kwh}} = \text{Cr\$ } 1.656.960,00$$

1.2. Consumo de Água

Perdas de água por arraste e evaporação nas Torres de Resfriamento = $14 \text{ m}^3/\text{h}$ (Correspondente a 5% da vazão de água no condensador)

$$14 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ hrs./dia} \times 190 \text{ dias} = 63.840 \text{ m}^3$$

§ Custo de 1 m^3 de água = Cr\$ 3,38 (Custo da água de São Joaquim (SC) - Conforme informações da Cooperativa Agrícola de Cotia)

Custo Total de Água:

$$63.840 \text{ m}^3 \times \frac{\text{Cr\$ } 3,38}{\text{m}^3} = \underline{\underline{\text{Cr\$ } 215.780,00}}$$

1.3. Custo de Mão-de-Obra Direta

Consideramos 2 pessoas trabalhando em turno de 8 hrs./dia para a operação das câmaras frigoríficas.

6 (pessoas) x Cr\$ 4.000,00/mes x 7 meses = Cr\$ 168.000,00

Encargos Sociais (70%) = Cr\$ 117.600,00

TOTAL: Cr\$ 285.600,00

1.4. Custo da Matéria Prima (Maçã)

Custo de produção: Cr\$ 74,83/20 Kg (Conforme informação da
Cooperativa Agrícola
de Cotia)

Temos 8.800.000 Kg = 440.000 caixas (Caixa de 20 Kg)

440.000 cxs. x $\frac{\text{Cr\$ } 74,83}{\text{Cx.}}$ = Cr\$ 32.925.200,00

1.5. Custo da Embalagem

Caixa de Papelão com as seguintes dimensões: 50x30x30 cm
Capacidade: 20 Kg

Custo: Cr\$ 50,00 (Conforme informação do Frigorífico RENAR-
Fraiburgo (SC))

$$418.000 \text{ cxs.} \times \text{Cr\$ } 50,00 = \underline{\text{Cr\$ } 20.900.000,00}$$

1.6. Custo de Manutenção

Empilhadeira Elétrica (5% a.a.)

$$5\% \times 335.347,00 = \underline{\text{Cr\$ } 16.767,00}$$

SOMATÓRIO (CUSTOS OPERACIONAIS)

Cr\$/Ano

1 - Custo de Energia Elétrica.....	1.656.960,00
2 - Custo de Água.....	215.780,00
3 - Custo de Mão-de-Obra.....	285.600,00
4 - Custo da Matéria Prima.....	32.925.200,00
5 - Custo da Embalagem.....	20.900.000,00
6 - Custo de Manutenção.....	<u>16.767,00</u>
TOTAL:	<u>56.000.307,00</u>

2. CUSTOS OPERACIONAIS (MÉTODO SEPARADO - PRÉ-RESFRIAMENTO À ÁGUA)

2.1. Consumo de Energia Elétrica (Motores dos ventiladores: evaporadores, torres de resfriamento - Motores: compressor, bombas de água e amônia, empilhadeira)

2.1.1. Equipamento Frigorífico

- a) Carregamento do Produto (Considerou-se que ocorreu em 20 dias - No 1º dia a carga térmica terá um valor mínimo e no último dia um valor máximo)

1º dia:

- Carga térmica das CÂMARAS FRIGORÍFICAS

Transmissão de calor através das paredes

Calculada em 5.1.3.1. $Q = 114.666 \text{ Kcal/dia}$

Transmissão de calor através das portas

Calculada em 5.1.3.2. $Q = 13.569 \text{ Kcal/dia}$

Resfriamento do produto e caixas

Produto - Calculada da mesma maneira que em 5.1.3.3, entretanto tendo-se em conta que o abaixamento de temperatura média foi de 4°C até $0,04^{\circ}\text{C}$. $Q = 514.976 \text{ Kcal/dia}$

Caixas - Consideramos como 10% da carga do produto.

$Q = 51.497 \text{ Kcal/dia}$

Respiração do produto

Calculada da mesma maneira que em 5.1.3.4, no entanto tendo-se em conta a geração de calor do produto da temperatura média de 4°C até $0,04^{\circ}\text{C}$.

$Q = 194.832 \text{ Kcal/dia}$

Cargas Adicionais

Calculada em 5.1.3.5. $Q = 32.458 \text{ Kcal/dia}$

Devido Ventiladores

Consideramos como vazão dos ventiladores em uma câma

ra 50 vezes o volume da mesma por hora e uma perda de carga total de 20 mm c.a.

$$\frac{123.000 \text{ m}^3/\text{h} \times 20 \text{ mm c.a.}}{3600 \times 102 \times 0,7 \times 0,85} = 11,26 \text{ Kw}$$

$$Q = 230.000 \text{ Kcal/dia}$$

$$\text{SUB-TOTAL: } Q = 1.151.998 \text{ Kcal/dia}$$

Segurança (10%)

$$Q = 115.200 \text{ Kcal/dia}$$

$$\text{TOTAL: } Q = 1.267.200 \text{ Kcal/dia}$$

- Carga térmica do TÚNEL DE RESFRIAMENTO À ÁGUA

$$\text{Calculada em 5.2.3.6. } Q = 6.969.520 \text{ Kcal/dia}$$

$$\text{TOTAL (CÂMARAS + TÚNEL): } Q = 8.236.720 \text{ Kcal/dia}$$

$$Q_o = 8.236.720/24 = 343.197 \text{ Kcal/h}$$

$$P_{ec} = 168 \text{ Hp (Calculada da mesma maneira que em 1.1.1.a)}$$

$$n = 0,95 \text{ (19)}$$

$$P_r = 168/0,95 = 177 \text{ Hp}$$

20º dia:

- Carga térmica das CÂMARAS FRIGORÍFICAS

Transmissão de calor através das paredes

Considerando que todas as outras câmaras já estejam à temperatura de 0°C e calculando-se da mesma maneira que em 5.1.3.1, obtemos:

$$Q = 1.476.580 \text{ Kcal/dia}$$

Transmissão de calor através das portas

$$\text{Calculada em 5.1.3.2. } Q = 13.569 \text{ Kcal/dia}$$

Resfriamento do produto e caixas

Produto - Calculada da mesma maneira que em 5.1.3.3 ,
entretanto tendo-se em conta que o abaixa
mento de temperatura média foi de 4°C até
0,04°C.

$$Q = 1.533.312 \text{ Kcal/dia}$$

Caixas - Consideramos como 10% da carga do produto.

$$Q = 153.331 \text{ Kcal/dia}$$

Respiração do produto

Calculada da mesma maneira que em 5.1.3.4, no entan
to tendo-se em conta a geração de calor do produto
da temperatura média de 4°C até 0,04°C.

$$Q = 3.009.600 \text{ Kcal/dia}$$

Cargas Adicionais

Calculada em 5.1.3.5.

$$Q = 32.458 \text{ Kcal/dia}$$

Devido Ventiladores

Consideramos que a partir do 5º dia de carregamento
se desligaria a cada dia a metade dos ventiladores de
1 câmara, assim sendo, no 20º dia teremos:

$$(5 \times 230.000) + (15 \times 230.000 / 2) = Q = 2.875.000 \text{ Kcal/dia}$$

$$\text{SUB-TOTAL: } Q = 9.093.850 \text{ Kcal/dia}$$

Segurança (10%)

$$Q = 909.385 \text{ Kcal/dia}$$

$$\text{TOTAL: } Q = 10.003.235 \text{ Kcal/dia}$$

- Carga térmica do TÚNEL DE RESFRIAMENTO À ÁGUA

Calculada em 5.2.3.6.

$$Q = 6.969.520 \text{ Kcal/dia}$$

TOTAL (CÂMARAS + TÚNEL):

$$Q = 16.972.755 \text{ Kcal/dia}$$

$$Q_o = 16.972.755 / 24 = 707.200 \text{ Kcal/h}$$

$P_{ec} = 267 \text{ Hp}$ (Calculada da mesma maneira que em 1.1.1.a)

$\eta = 0,95$ (19)

$P_r = 267/0,95 = 281 \text{ Hp}$

CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DURANTE O CARREGAMENTO

- Motor do Compressor:

$(177+281)/2 \text{ Hp} \times 24 \text{ hrs./dia} \times 20 \text{ dias} \times 0,7457 \text{ Kw} = 81.967 \text{ Kwh}$

- Motores: ventiladores das torres de resfriamento, bombas de água e amonia.

Obs: A potência dos motores foi calculada como sendo diretamente proporcional à capacidade frigorífica do método convencional.

$32,4 \text{ Kw} \times 24 \text{ hrs./dia} \times 20 \text{ dias} = 15.552 \text{ Kwh}$

- Motores: bombas de água do túnel de resfriamento à água, esteira do transportador.

$12,27 \text{ Kw} \times 24 \text{ hrs./dia} \times 20 \text{ dias} = 5.890 \text{ Kwh}$

- Motores: ventiladores dos evaporadores.

Consideramos que a partir do 5º dia de carregamento se desligaria a cada dia a metade dos ventiladores de 1 câmara. O consumo de energia será igual ao somatório do consumo dos 20 dias, ou seja, 40.114 Kwh.

TOTAL: 143.523 Kwh

b) Estocagem do Produto (5 meses: maio à setembro)

Capacidade frigorífica igual a do método convencional, ou seja,

$Q_o = 287.457 \text{ Kcal/h}$, e portanto igual também a P_{ec} .

$P_{ec} = 153 \text{ Hp}$

$P_r = 153/0,95 = 161 \text{ Hp}$

CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DURANTE A ESTOCAGEM

- Motor do Compressor:

$161 \text{ Hp} \times 24 \text{ hrs./dia} \times 150 \text{ dias} \times 0,7457 \text{ Kw} = 432.208 \text{ Kwh}$

- Motores: ventiladores das torres de resfriamento, bombas de água e amônia.

$32,4 \text{ Kw} \times 24 \text{ hrs./dia} \times 150 \text{ dias} = 116.640 \text{ Kwh}$

- Motores: ventiladores dos evaporadores.

$20 \text{ (câmaras)} \times 230.000/2 = 2.300.000 \text{ Kcal/dia}$

$2.300.000/860 = 2.675 \text{ Kwh/dia}$

$2.675 \text{ Kwh/dia} \times 150 \text{ dias} = 401.250 \text{ Kwh}$

TOTAL: 950.098 Kwh

c) Descarregamento do Produto (Considerou-se que ocorreu em 20 dias)

Capacidade frigorífica igual a do método convencional, ou seja, $Q_o = 241.027 \text{ Kcal/h}$, e portanto igual também a P_{ec} .

$P_{ec} = 141 \text{ Hp}$

$P_r = 141/0,95 = 148 \text{ Hp}$

CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DURANTE O DESCARREGAMENTO:

- Motor do Compressor:

$$148 \text{ Hp} \times 24 \text{ hrs./dia} \times 20 \text{ dias} \times 0,7457 \text{ Kw} = 52.975 \text{ Kwh}$$

- Motores: ventiladores das torres de resfriamento, bombas de água e amonia.

$$32,4 \text{ Kw} \times 24 \text{ hrs./dia} \times 20 \text{ dias} = 15.552 \text{ Kwh}$$

- Motores: ventiladores dos evaporadores.

$$20 \text{ (câmaras)} \times 230.000/2 = 2.300.000 \text{ Kcal/dia}$$

$$2.300.000/860 = 2.675 \text{ Kwh/dia}$$

$$2.675 \text{ Kwh/dia} \times 20 \text{ dias} = 53.500 \text{ Kwh}$$

TOTAL: 122.027 Kwh

2.1.2. Empilhadeira Elétrica

$$P_r = 4,77 \text{ Kw}$$

$$4,77 \text{ Kw} \times 6 \text{ hrs./dia} \times (20 + 20) \text{ dias} = \underline{\underline{1.145 \text{ Kwh}}}$$

CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DURANTE TODA A OPERAÇÃO:

- Carregamento do Produto.....	143.523 Kwh
- Estocagem do Produto.....	950.098 Kwh
- Descarregamento do Produto.....	122.027 Kwh
- Empilhadeira Elétrica.....	1.145 Kwh

TOTAL: 1.216.793 Kwh

§ Custo de 1 Kwh = Cr\$ 1,33 (Conforme informação da Companhia Paulista de Força e Luz)

Custo Total de Energia:

$$1.216.793 \text{ Kwh} \times \frac{\text{Cr\$ } 1,33}{\text{Kwh}} = \underline{\underline{\text{Cr\$ } 1.618.335,00}}$$

2.2. Consumo de Água

Perdas de água por arraste e evaporação nas Torres de Resfriamento = 11 m³/h (Correspondente a 5% da vazão de água no condensador - A vazão de água no condensador foi considerada como sendo diretamente proporcional a do método convencional)

$$11 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ hrs./dia} \times 190 \text{ dias} = 50.160 \text{ m}^3$$

§ Custo de 1 m³ de água = Cr\$ 3,38 (Custo da água de São Joaquim (SC) - Conforme informação da Cooperativa Agrícola de Cotia)

Custo da água (Equipamento Frigorífico):

$$50.160 \text{ m}^3 \times \frac{\text{Cr\$ } 3,38}{\text{m}^3} = \text{Cr\$ } 169.540,00$$

Troca de água no Tanque Resfriador (Túnel): 40 m³/dia

$$40 \text{ m}^3/\text{dia} \times 20 \text{ dias} = 800 \text{ m}^3$$

Custo da água (Túnel de Resfriamento):

$$800 \text{ m}^3 \times \frac{\text{Cr\$ } 3,38}{\text{m}^3} = \text{Cr\$ } 2.704,00$$

Custo Total de Água:

Cr\$ 172.244,00

2.3. Custo de Mão-de-Obra Direta

Consideramos 3 pessoas trabalhando em turno de 8 hrs./ dia para a operação das câmaras frigoríficas e do túnel de resfriamento à água.

3 (pessoas) x Cr\$ 4.000,00/mes x 7 meses = Cr\$ 252.000,00
 Encargos sociais (70%) = Cr\$ 176.400,00
 TOTAL: Cr\$ 428.400,00

2.4. Custo da Matéria Prima (Maçã)

Custo de produção: Cr\$ 74,83/20 Kg (Conforme informação da
 Cooperativa Agrícola
 de Cotia)

Temos 8.800.000 Kg = 440.000 caixas (caixa de 20 Kg)

440.000 cxs. x $\frac{\text{Cr\$ } 74,83}{\text{cx.}}$ = Cr\$ 32.925.200,00

2.5. Custo da Embalagem

Caixa de Papelão com as seguintes dimensões: 50x30x30 cm

Capacidade: 20 Kg

Custo: Cr\$ 50,00 (Conforme informação do Frigorífico RENAR
- Fraiburgo (SC)).

$$418.000 \text{ cxs.} \times \text{Cr\$ } 50,00 = \underline{\underline{\text{Cr\$ } 20.900.000,00}}$$

2.6. Custo de Manutenção

Empilhadeira Elétrica (5% a.a.)

$$5\% \times 335.347,00 = \underline{\underline{\text{Cr\$ } 16.767,00}}$$

SOMATÓRIO (CUSTOS OPERACIONAIS)

	<u>Cr\$/Ano</u>
1 - Custo de Energia Elétrica.....	1.618.335,00
2 - Custo de Água.....	172.244,00
3 - Custo de Mão-de-Obra.....	428.400,00
4 - Custo da Matéria Prima.....	32.925.200,00
5 - Custo da Embalagem.....	20.900.000,00
6 - Custo de Manutenção.....	<u>16.767,00</u>
<u>TOTAL:</u>	<u><u>56.060.946,00</u></u>

3. Custos Operacionais (Método Separado-Pré-Resfriamento a Ar)

3.1. Consumo de Energia Elétrica (Motores dos ventiladores :
evaporadores (câmaras frigoríficas)e
evaporadores (túneis de resfriamento
a ar), torres de resfriamento - Moto
res: compressor, bombas de água e
amoníaco, empilhadeira)

3.1.1. Equipamento Frigorífico

- a) Carregamento do Produto (Considerou-se que ocorreu em 20 dias - No 1º dia a carga térmica terá um valor mínimo e no último dia um valor máximo)

1º dia:

- Capacidade frigorífica das CÂMARAS FRIGORÍFICAS

Transmissão de calor através das paredes

Calculada em 5.1.3.1 $Q = 114.666 \text{ Kcal/dia}$

Transmissão de calor através das portas

Calculada em 5.1.3.2. $Q = 13.569 \text{ Kcal/dia}$

Resfriamento do produto e caixas

Produto - Calculada da mesma maneira que em 5.1.3.3., entretanto tendo-se em conta que o abaixamento de temperatura média foi de $4,5^{\circ}\text{C}$ até $0,04^{\circ}\text{C}$. $Q = 580.800 \text{ Kcal/dia}$

Caixas - Consideramos como 10% da carga do produto.

$Q = 51.497 \text{ Kcal/dia}$

Respiração do produto

Calculada da mesma maneira que em 5.1.3.4, no entanto tendo-se em conta a geração de calor do produto da temperatura média de $4,5^{\circ}\text{C}$ até $0,04^{\circ}\text{C}$.

$Q = 202.752 \text{ Kcal/dia}$

Cargas Adicionais

Calculada em 5.1.3.5. $Q = 32.458 \text{ Kcal/dia}$

Devido Ventiladores

Consideramos como vazão dos ventiladores em uma câmara 50 vezes o volume da mesma por hora e uma perda de carga total de 20 mm c.a.

$$\frac{123.000 \text{ m}^3/\text{h} \times 20 \text{ mm c.a.}}{3600 \times 102 \times 0,7 \times 0,85} = 11,26 \text{ Kw}$$

$$Q = 230.000 \text{ Kcal/dia}$$

$$\text{SUB-TOTAL: } Q = 1.232.325 \text{ Kcal/dia}$$

Segurança (10%)

$$Q = 123.232 \text{ Kcal/dia}$$

$$\text{TOTAL: } Q = 1.355.557 \text{ Kcal/dia}$$

$$Q_o = 1.355.557/24 = 56.482 \text{ Kcal/h}$$

- Capacidade frigorífica do TÚNEL DE RESFRIAMENTO A AR

Calculada no Ítem 1.8 - Apêndice A

$$Q_o = 418.842 \text{ Kcal/h}$$

$$\text{TOTAL (CÂMARAS + TÚNEL): } Q_o = 475.324 \text{ Kcal/dia}$$

$$P_{ec} = 204 \text{ Hp} \quad (\text{Calculada da mesma maneira que em 1.1.1.a})$$

$$n = 0,95 \text{ (19)}$$

$$P_T = 204/0,95 = 215 \text{ Hp}$$

20º dia:

- Capacidade frigorífica das CÂMARAS FRIGORÍFICAS

Transmissão de calor através das paredes

Considerando que todas as outras câmaras já estejam à temperatura de 0°C e calculando-se da mesma maneira

que em 5.1.3.1, obtemos: $Q = 1.476.580 \text{ Kcal/dia}$

Transmissão de calor através das portas

Calculada em 5.1.3.2. $Q = 13.569 \text{ Kcal/dia}$

Resfriamento do produto e caixas

Produto - Calculada da mesma maneira que em 5.1.3.3.,
entretanto tendo-se em conta que o abaixa
mento de temperatura média foi de $4,5^{\circ}\text{C}$ até
 $0,04^{\circ}\text{C}$. $Q = 1.726.912 \text{ Kcal/dia}$

Caixas - Consideramos como sendo 10% da carga do pro
duto $Q = 172.691 \text{ Kcal/dia}$

Respiração do produto

Calculada da mesma maneira que em 5.1.3.4, no entanto
tendo-se em conta a geração de calor do produto da
temperatura média de $4,5^{\circ}\text{C}$ até $0,04^{\circ}\text{C}$.

$Q = 3.030.192 \text{ Kcal/dia}$

Cargas Adicionais

Calculada em 5.1.3.5. $Q = 32.458 \text{ Kcal/dia}$

Devido Ventiladores

Consideramos que a partir do 5º dia de carregamento
se desligaria a cada dia a metade dos ventiladores de
1 câmara, assim sendo, no 20º dia teremos:

$(5 \times 230.000) + (15 \times 230.000 / 2) = Q = 2.875.000 \text{ Kcal/dia}$

SUB-TOTAL: $Q = 9.327.402 \text{ Kcal/dia}$

Segurança (10%) $Q = 932.740 \text{ Kcal/dia}$

TOTAL: $Q = 10.260.142 \text{ Kcal/dia}$

$Q_0 = 10.260.142 / 24 = 427.506 \text{ Kcal/h}$

- Capacidade frigorífica do TÚNEL DE RESFRIAMENTO A AR

Calculada no item 1.8 - Apêndice A:

$$Q_o = 418.842 \text{ Kcal/h}$$

$$\text{TOTAL (CÂMARAS + TÚNEL): } Q_o = 846.348 \text{ Kcal/h}$$

$$P_{ec} = 304 \text{ Hp (Calculada da mesma maneira que em 1.1.1.a)}$$

$$\eta = 0,95 \text{ (19)}$$

$$P_r = 304/0,95 = 320 \text{ Hp}$$

CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DURANTE O CARREGAMENTO:

- Motor do Compressor:

$$(215+320)/2 \text{ Hp} \times 24 \text{ hrs./dia} \times 20 \text{ dias} \times 0,7457 \text{ Kw} = 95.748 \text{ Kwh}$$

- Motores: ventiladores das torres de resfriamento, bombas de água e amonia.

A potência dos motores foi calculada como sendo diretamente proporcional à capacidade frigorífica do método convencional.

$$39 \text{ Kw} \times 24 \text{ hrs./dia} \times 20 \text{ dias} = 18.720 \text{ Kwh}$$

- Motores: ventiladores dos evaporadores das câmaras frigoríficas: Igual ao método convencional, ou seja, 40.114 kwh

ventiladores dos evaporadores dos túneis de resfriamento:

$$P_e = 2,6 \text{ cv (Calculada no item 1.8.5 - Apêndice A)}$$

$$P_r = 2,6/0,73 = 3,56 \text{ cv} = 2,61 \text{ Kw}$$

$$40 \text{ (ventiladores)} \times 2,61 \text{ Kw} \times 24 \text{ hrs./dia} \times 20 \text{ dias} =$$

$$= 50.112 \text{ Kwh}$$

$$\underline{\text{TOTAL}} = \underline{204.694 \text{ Kwh}}$$

b) Estocagem do Produto (5 meses: maio à setembro)

Capacidade frigorífica igual a do método convencional, ou seja, $Q_o = 287.457 \text{ Kcal/h}$, e portanto igual também a P_{ec} .

$$P_{ec} = 153 \text{ Hp}$$

$$P_r = 153/0,95 = 161 \text{ Hp}$$

CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DURANTE A ESTOCAGEM:

- Motor do Compressor:

$$161 \text{ Hp} \times 24 \text{ hrs./dia} \times 150 \text{ dias} \times 0,7457 \text{ Kw} = 432.208 \text{ Kwh}$$

- Motores: ventiladores das torres de resfriamento, bombas de água e amônia.

$$39 \text{ Kw} \times 24 \text{ hrs./dia} \times 150 \text{ dias} = 140.400 \text{ Kwh}$$

- Motores: ventiladores dos evaporadores.

$$20 \text{ (câmaras)} \times 230.000/2 = 2.300.000 \text{ Kcal/dia}$$

$$2.300.000/860 = 2.675 \text{ Kwh/dia}$$

$$2.675 \text{ Kwh/dia} \times 150 \text{ dias} = 401.250 \text{ Kwh}$$

$$\underline{\text{TOTAL:}} \quad \underline{973.858 \text{ Kwh}}$$

c) Descarregamento do Produto (Considerou-se que ocorreu em 20 dias)

Capacidade frigorífica igual a do método convencional,

ou seja, $Q_o = 241.027 \text{ Kcal/h}$, e portanto igual também a P_{ec} .

$$P_{ec} = 141 \text{ Hp}$$

$$P_r = 141/0,95 = 148 \text{ Hp}$$

CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DURANTE O DESCARREGAMENTO

- Motor do Compressor:

$$148 \text{ Hp} \times 24 \text{ hrs./dia} \times 20 \text{ dias} \times 0,7457 \text{ Kw} = 52.975 \text{ Kwh}$$

- Motores: ventiladores das torres de resfriamento, bombas de água e amônia.

$$39 \text{ Kw} \times 24 \text{ hrs./dia} \times 20 \text{ dias} = 18.720 \text{ Kwh}$$

- Motores: ventiladores dos evaporadores.

$$20 \text{ (câmaras)} \times 230.000/2 = 2.300.000 \text{ Kcal/dia}$$

$$2.300.000/860 = 2.675 \text{ Kwh/dia}$$

$$2.675 \text{ Kwh/dia} \times 20 \text{ dias} = 53.500 \text{ Kwh}$$

TOTAL: 125.195 Kwh

3.1.2. Empilhadeira Elétrica

$$P_r = 4,77 \text{ Kw}$$

$$4,77 \text{ Kw} \times 6 \text{ hrs./dia} \times (20 + 20) \text{ dias} = \underline{\underline{1.145 \text{ Kwh}}}$$

CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DURANTE TODA A OPERAÇÃO:

1 - Carregamento do Produto..... 204.694 Kwh

2 - Estocagem do Produto.....	973.858 Kwh
3 - Descarregamento do Produto.....	125.195 Kwh
4 - Empilhadeira Elétrica.....	1.145 Kwh

TOTAL: 1.304.892 Kwh

§ Custo de 1 Kwh = Cr\$ 1,33 (Conforme informação da Companhia Paulista de Força e Luz)

Custo Total de Energia:

$$1.304.892 \text{ Kwh} \times \frac{\text{Cr\$ } 1,33}{\text{Kwh}} = \underline{\underline{\text{Cr\$ } 1.735.506,00}}$$

3.2. Consumo de Água

Perdas de água por arraste e evaporação nas Torres de Resfriamento = 13,4 m³/h (Corresponde a 5% da vazão de água no condensador - A vazão de água no condensador foi considerada como sendo diretamente proporcional a do método convencional)

$$13,4 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ hrs./dia} \times 190 \text{ dias} = 61.104 \text{ m}^3$$

§ Custo de 1 m³ de água = Cr\$ 3,38 (Custo da água de São Joaquim (SC) - Conforme informação da Cooperativa Agrícola de Cotia)

Custo Total de Água:

$$61.104 \text{ m}^3 \times \frac{\text{Cr\$ } 3,38}{\text{m}^3} = \underline{\underline{\text{Cr\$ } 206.532,00}}$$

3.3. Custo de Mão-de-Obra Direta

Consideramos 2 pessoas trabalhando em turno de 8 hrs./dia para a operação das câmaras frigoríficas.

Para a operação dos túneis de resfriamento a ar serão necessárias 48 pessoas trabalhando em turno de 8 hrs./dia.

6 (pessoas) x Cr\$ 4.000,00/mes x 7 meses = Cr\$ 168.000,00

144 (pessoas) x Cr\$ 1.500,00/mes x 1 mes = Cr\$ 216.000,00

Encargos Sociais (70%) = Cr\$ 268.800,00

TOTAL: Cr\$ 652.800,00

3.4. Custo da Matéria Prima (Maçã)

Custo de produção: Cr\$ 74,83/20 Kg (Conforme informação da
Cooperativa Agrícola
de Cotia)

Temos 8.800.000 Kg = 440.000 caixas (Caixa de 20 Kg)

440.000 cxs. x $\frac{\text{Cr\$ } 74,83}{\text{cx.}}$ = Cr\$ 32.925.200,00

3.5. Custo da Embalagem

Caixa de Papelão com as seguintes dimensões: 50x30x30 cm

Capacidade: 20 Kg

Custo: Cr\$ 50,00 (Conforme informação do Frigorífico RENAR-Fraiburgo (SC)).

418.000 cxs. x Cr\$ 50,00 = Cr\$ 20.900.000,00

3.6. Custo de Manutenção

Empilhadeira Elétrica (5% a.a.)

5% x 335.347,00 = Cr\$ 16.767,00

SOMATÓRIO (CUSTOS OPERACIONAIS)

	Cr\$/Ano
1 - Custo de Energia Elétrica.....	1.735.506,00
2 - Custo de Água.....	206.532,00
3 - Custo de Mão-de-Obra.....	652.800,00
4 - Custo da Matéria Prima.....	32.925.200,00
5 - Custo da Embalagem.....	20.900.000,00
6 - Custo de Manutenção.....	<u>16.767,00</u>
<u>TOTAL:</u>	<u>56.436.805,00</u>

APÊNDICE D

CUSTO DE INVESTIMENTO DAS CÂMARAS FRIGORÍFICAS

CUSTO DE INVESTIMENTO DAS CÂMARAS FRIGORÍFICAS

ALTERNATIVA I

1. Base (Placa) - A base terá um piso morto (de concreto) com 10 cm de espessura, uma placa de isolante com 10 cm de espessura e uma pista de rolamento (de concreto) com 5 cm de espessura.

Custo da Base (sem isolamento e incluindo to
da infra-estrutura)

Cr\$ 1.520.925,00 (*)

2. Paredes - De alvenaria - Cr\$ 3.000,00/m² (*)

* Custo da Alvenaria:

$$6.758 \text{ m}^2 \times 3.000,00/\text{m}^2 = \underline{\text{Cr\$ 20.274.000,00}}$$

3. Isolamento - Placa de Styropor (poliestireno)

5 cm de esp. - Custo: Cr\$ 229,93/m² (**)

10 cm de esp. - Custo: Cr\$ 303,11/m² (**)

Custo de Isolamento:

- Piso: 7.030 m² x 303,11/m² = Cr\$ 2.130.863,30

- Paredes: 7.689 m² x 229,93/m² = Cr\$ 1.767.931,77

2.922 m² x 303,11/m² = Cr\$ 885.687,42

TOTAL:..... Cr\$ 4.784.482,00

(*) Preços obtidos na revista "CONSTRUÇÃO SÃO PAULO" dos meses de maio e junho de 1978.

(**) Preços fornecidos pela "PLÁSTICOS TUPINIQUIM S/A-São Paulo"

4. Teto - Styropainéis (Núcleo de Poliestireno), 10 cm de esp.,
revestimento em alumínio (0,8 mm)

Custo: Cr\$ 1.041,90/m² (**)

Custo do Teto:

$$7.255 \text{ m}^2 \times 1.041,90/\text{m}^2 = \underline{\text{Cr\$ 7.558.984,00}}$$

5. Cobertura - Telhas de Alumínio (chapas onduladas), 1,0 mm
de esp.,

Custo: Cr\$ 181,00/m² (*)

Custo da Cobertura:

$$7.255 \text{ m}^2 \times 181,00/\text{m}^2 = \underline{\text{Cr\$ 1.313.155,00}}$$

6. Portas Frigoríficas - Correr Automática, 1 (uma) folha, em
fibra de vidro, 1800 x 2600 x 100 mm

Custo: Cr\$ 97.736,00 (*)

Custo das Portas:

$$20 \times 97.736,00 = \underline{\text{Cr\$ 1.954.720,00}}$$

7. Estrutura Metálica - Para sustentação dos painéis do teto.

Custo: Cr\$ 2.388.590,00 (***)

(*) Preços obtidos na revista "CONSTRUÇÃO SÃO PAULO" dos meses de maio e junho de 1978.

(**) Preços fornecidos pela "PLÁSTICOS TUPINIQUIM S/A-São Paulo

(***) Preços fornecidos pela "ALUFER S/A - São Paulo"

SOMATÓRIO

	Cr\$
1. Base (placa).....	1.520.925,00
2. Paredes.....	20.274.000,00
3. Isolamento.....	4.784.482,00
4. Teto.....	7.558.984,00
5. Cobertura.....	1.313.155,00
6. Portas Frigoríficas.....	1.954.720,00
7. Estrutura Metálica.....	<u>2.388.590,00</u>
	39.794.856,00

Custo Total das 20 câmaras frigoríficas: Cr\$ 39.794.856,00

ALTERNATIVA II

1. Base (Placa) - A base terá um piso morto (de concreto) com 10 cm de espessura, uma placa de isolante com 10 cm de espessura e uma pista de rolamento (de concreto) com 5 cm de espessura.

Custo da Base (sem isolamento e incluindo toda a infra estrutura):

Cr\$ 1.520.925,00

2. Paredes - Styropainéis (Núcleo de Poliestireno), 10 cm de espessura, revestimento em alumínio (0,8 mm).

Custo: Cr\$ 1.041,90/m²

Custo das Paredes:

$$6.697 \text{ m}^2 \times 1.041,90/\text{m}^2 = \underline{\text{Cr\$ 6.977.604,00}}$$

3. Isolamento (Piso) - Placa de Styropor (poliestireno), 10 cm de espessura, Custo: Cr\$ 303,11/m²

Custo do Isolamento:

$$7.030 \text{ m}^2 \times 303,11/\text{m}^2 = \underline{\text{Cr\$ 2.130.863,00}}$$

4. Teto - Styropainéis (Núcleo de Poliestireno), 10 cm de esp., revestimento em alumínio (0,8 mm).

Custo: Cr\$ 1.041,90/m²

Custo do Teto:

$$7.126 \text{ m}^2 \times 1.041,90/\text{m}^2 = \underline{\text{Cr\$ 7.424.580,00}}$$

5. Cobertura - Telhas de Alumínio (Chapas Onduladas), 1,0 mm de esp., Custo: Cr\$ 181,00/m²

Custo da Cobertura:

$$7.126 \text{ m}^2 \times 181,00/\text{m}^2 = \underline{\text{Cr\$ 1.289.806,00}}$$

6. Portas Frigoríficas - Iguais a da Alternativa II

Custo das Portas Frigoríficas: Cr\$ 1.954.720,00

7. Estrutura Metálica - Para sustentação dos painéis das paredes e do teto.

Custo: Cr\$ 4.792.430,00

SOMATÓRIO

Cr\$

1. Base (placa),.....	1.520.925,00
2. Paredes.....	6.977.604,00
3. Isolamento (piso).....	2.130.863,00
4. Teto.....	7.424.580,00
5. Cobertura,.....	1.289.806,00
6. Portas Frigoríficas.....	1.954.720,00
7. Estrutura Metálica.....	<u>4.792.430,00</u>

26.090.928,00

Custo Total das 20 câmaras frigoríficas: Cr\$ 26.090.928,00

APÊNDICE E

DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE DA MAÇA

1. DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DA DENSIDADE E TEOR DE UMIDADE

1.1. Densidade (ρ)

Para a determinação experimental da densidade da maçã de variedade "Fuji", seguiu-se o seguinte procedimento:

a - Tomamos 3 amostras de maçãs em estado de maturação diferentes e por conseguinte com teor de umidade diferentes, afim de que pudéssemos obter uma densidade média, visto a densidade variar com o teor de umidade.

Pesamos cada uma das amostras em uma balança analítica.

b - Em 1 proveta graduada contendo água a um certo volume, colocamos 1 amostra e medimos o volume de água deslocado pela mesma. Usando-se o mesmo procedimento medimos o volume deslocado para as outras 2 amostras.

c - A densidade de cada amostra será determinada dividindo-se o seu peso pelo volume de água deslocado, conforme resultados mostrados abaixo.

Obs.: A densidade foi determinada em uma temperatura ambiente de 25°C.

AMOSTRA	PESO (g)	VOLUME DESLOCADO (cm ³)	DENSIDADE (g/cm ³)	DENSIDADE MÉDIA (g/cm ³)	OBSERVAÇÃO
1	56,4781	65,4	0,8635	0,8762	(+) madura
2	58,2985	67,7	0,8611		madura
3	17,5389	19,4	0,9040		(-) madura

1.2. Teor de Umidade (%)

Para a determinação experimental do teor de umidade da maçã de variedade "Fuji", seguiu-se o seguinte procedimento:

a - Tomamos 3 amostras de maçãs em estado de maturação diferentes e por conseguinte com teor de umidade diferentes, afim de que pudéssemos obter um teor de umidade médio.

Pesamos cada amostra em uma balança analítica.

b - Colocamos as 3 amostras em uma estufa a 105°C , e a cada hora pesamos cada amostra até que o peso se tornasse constante. Decorridos 8 horas, o peso de cada amostra se tornou constante e retiramos as amostras da estufa.

c - O peso de água evaporado na estufa será então a diferença do peso inicial (antes da colocação na estufa) e o peso final (após a retirada da estufa), para cada amostra.

d - A porcentagem de umidade para cada amostra será determinada multiplicando-se por 100 o peso de água e dividindo-se pelo peso inicial da amostra, conforme resultados mostrados abaixo.

AMOSTRA	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	PESO ÁGUA (g)	% ÁGUA	% ÁGUA MÉDIA	OBSERVAÇÃO
1	3,4741	0,5554	2,9187	84,01		(+) madura
2	4,7754	0,8053	3,9701	83,13	83,25	madura
3	3,9298	0,6833	3,2465	82,61		(-) madura

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. Guide and data book; applications. New York, ASHRAE, 1971. 656p.
2. _____. Guide and data book; equipments. New York, ASHRAE, 1972. 494p.
3. _____. Guide and data book; handbook of fundamentals. New York, ASHRAE, 1973. 688p.
4. _____. Guide and data book; systems. New York, ASHRAE, 1976. 640p.
5. BAIRD, C. D.; GAFFNEY, J. J. & KINARD, D. T. Research facility for forced-air precooling of fruits and vegetables. Transactions of the ASAE 18(2): 376-379, 1975.
6. BENNETT, A. H.; SOULE, J. & YOST, G. E. Forced-air precooling of red delicious apples-Temperature response and physiological effect. Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture, ARS 52-41: 1969. 11p.
7. _____. Precooling fruits and vegetable. Transactions of the ASAE 7(3): 265-266, 1964.
8. BLANPIED, G. D. The effect of cooling rate on the market quality of McIntosh apples. Proceedings of the American Society of Horticultural Science 70: 58-66, 1957.

9. COOLER FRUIT FOR MARKET. Citrus and Vegetable Magazine 32(8): 2-3, 1969.
10. COOPER, C. E. B. Cold storage design and administration. In: STEWART, G. F. Advances in food research. New York, Academic Press, 1973, v. 20, p. 113-152.
11. CREDER, H. Instalações elétricas. 4. ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Ed., 1976. 273p.
12. DOSSAT, R. J. Principios de refrigeracion. México, Ed. Continental, 1961. 967p.
13. ECKERT, E. R. G. & DRAKE JR., R. M. Analysis of heat and mass transfer. New York, McGraw-Hill, 1972. p. 415.
14. FRECHETTE, R. J. & ZAHRADNIK, J. W. Thermal properties of the McIntosh apple. Transactions of the ASAE 11(1): 21-24, 1968.
15. GUILLOU, R. Pressure cooling for fruits and vegetables. ASHRAE Journal 5(11): 45-49, 1963.
16. _____. Some engineering aspects of cooling fruits and vegetables. Transactions of the ASAE 1(1): 38-42, 1958.
17. _____. Coolers for fruits and vegetables. University of California, 1960. 65p. (California Agricultural Experiment Station Bull., 773).
18. HALÁSZ, L. Problemas atuais no ramo da refrigeração. Campinas, Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia, 1977. 205p.
19. _____. Refrigeração e suas aplicações (notas de aula).

- Campinas, F.E.A.A-UNICAMP. 1976.
20. HALL, E. G. Precooling and container shipping of citrus fruits. CSIRO Food Res. Quarter. AUS. 32(1): 1-10, 1972.
 21. HOLMAN, J. P. Heat transfer. New York, McGraw-Hill, 1972. 462p.
 22. HOOD, C. E. A forced-air precooler for pickling cucumbers. Food Technol. 21(2): 86-88, 1967.
 23. INTERNATIONAL INSTITUTE OF REFRIGERATION. Practical guide to refrigerated storage. Paris, I.I.F./I.I.R., 1965. 240p.
 24. _____. Recommended conditions of cold storage of perishable produce. 2. ed. Paris, I.I.F./I.I.R., 1967. 104p.
 25. KERN, D. Q. Process heat transfer. New York, McGraw-Hill, 1950. 871p.
 26. KOPELMAN, I.; BLAISDELL, J. L. & PFLUG, I. J. Influence of fruit size and coolant velocity on the cooling of Jonathan apples in water and air. ASHRAE Transactions 72: 209-216, 1966.
 27. KREITH, F. Princípios de transmissão de calor. São Paulo Ed. E. Blücher da U.S.P., 1969. 641p..
 28. LEUNG, K. Y. New monograph: quick route to discounted cash flow. Chemical Engineering 77(12): 208-209, 1970.
 29. LUTZ, J. M. The commercial storage of fruits, vegetables, and nursery stocks. Washington, U.S. Department of Agriculture, 1968. 94p. (Agriculture handbook, 66).

30. McADAMS, W. H. Heat transmission. 3. ed. New York, McGraw-Hill, 1953. 532p.
31. MITCHELL, F. G.; GUILLOU, R. & PARSONS, R. A. Commercial cooling of fruits and vegetables. Berkeley, California Agricultural Experiment Station Extension Service, University of California, 1972. 44p. (Manual, 43).
32. MYERS, G. E. Analytical methods in conduction heat transfer. New York, McGraw-Hill, 1971. 508p.
33. NICHOLAS, R. C.; MOTAWI, K. E. H. & BLAISDELL, J. L. Cooling rates of individual fruit in air and water. Michigan State University, Agric. Expt. Station Bull. 47(1): 51-64, 1964.
34. OSBORNE, W. C. & TURNER, C. G. Guía práctica de la ventilación. Barcelona, Ed. Blume, 1970. 334p.
35. O'BRIEN, M. & GENTRY, J. P. Effect of cooling methods on cooling rates and accompanying desiccation of fruits. Transactions of the ASAE 10(5): 603-606, 1967.
36. PACITTI, T. Fortran-Monitor; princípios. 2. ed. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1969. 377p.
37. PARK, W. R. & JACKSON, D. E. New tool for cash-flow analysis: the investment profit-prophet. Chemical Engineering. 75(1): 108-110, 1968.
38. PATCHEN, G. O. Storage for apples and pears. Washington, U.S.D.A.-A.R.S., 1971. (Marketing research report, 924).

39. PERRY, J. S.; BENNETT, A. H. & MINH, T. V. Experiments with a prototype commercial forced-air precooler on peaches, potatoes, apples and strawberries. Washington, United States Department of Agriculture, 1971. 19p. (Research Bull., 91).
40. PERRY, J. H. Chemical engineers' handbook. 5. ed. New York, McGraw-Hill, 1963.
41. PLANK, R. El empleo del frio en la industria de la alimentación. Barcelona, Ed. Reverté, 1963. 805p.
42. ROHSENOW, W. M. & MARTNETT, J. P. Handbook of heat transfer. New York, McGraw-Hill, 1973.
43. RYALL, A. L. & PENTZER, W. T. Treatments before shipment or storage. In: _____. Handling, transportation, and storage of fruits and vegetables. Westport, AVI, 1974, v. 2, cap. 11, p. 292-321.
44. SCHNEIDER, P. J. Conduction heat transfer. Cambridge, Addison-Wesley, 1955.
45. SILVA, R. B. Manual de refrigeração e ar condicionado. São Paulo, Escola Politécnica da U.S.P., 1973.
46. _____. Manual de termodinâmica e transmissão de calor. 5. ed. São Paulo, Escola Politécnica da U.S.P., 1972.
47. _____. Ventilação. São Paulo, Escola Politécnica da U.S.P., 1967. 170p.
48. STOECKER, W. F. Design of thermal systems. New York, McGraw-Hill, 1971. 244p.

49. SYMPOSIUM ON PRECOOLING OF FRUITS AND VEGETABLES, San Francisco, Jan. 19-22, 1970. New York, ASHRAE, 1971. 33p.
50. WOOLRICH, W. R. & HALLOWELL, E. R. Cold and freezer storage manual. Westport, AVI, 1970. 338p.
51. ZAHRADNIK, J. W. & REINHART, L. E. In-stack hydrocooling for apples. Transactions of the ASAE 15(1): 141-145, 1972.