



**Condicionamento de alimentos em câmaras frigorígenas:
uma visão técnica.**

Food storage in refrigeration chambers: a technical view.

Recebido em 03.07.2017. Aprovado em 01.12.2017



Sérgio da Silva Franco *; Alvaro Antonio Ochoa Villa; José Ângelo Peixoto da Costa
Instituto Federal de Pernambuco |* sergiofranco@recife.ifpe.edu.br

119

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma visão técnica sobre os processos frigoríficos e sua relação direta com os alimentos. Analogamente, uma câmara frigorígena é como um freezer ou geladeira onde se colocam alimentos para aumentar sua conservação em virtude da deterioração, porém as características do produto a ser armazenado estão relacionadas com o tipo e parâmetros operacionais destas câmaras frigorígenas, pois existem parâmetros, tais como; temperatura e umidade relativa, adequadas para o condicionamento dos alimentos de acordo com suas peculiaridades, assim como também o consumo energético destes equipamentos. Deficiência na aquisição do produto, operação, manutenção e supervisão das câmaras frigoríficas favorecem o crescimento microbológico, atividades metabólicas, enzimas, reações químicas e consequentemente o aumento da deterioração dos alimentos. Cuidados e técnicas são necessários para diminuir os riscos de crescimento microbológico e perda da consistência nos alimentos conservados dentro destas câmaras frigoríficas.

PALAVRAS-CHAVE: alimentos perecíveis, consumo energético, câmaras frigoríficas.

ABSTRACT

This work aims to present a technical view on the refrigeration processes and their direct relationship with food. Similarly, a refrigerating chamber is similar as a freezer or refrigerator where food is placed to increase its storage due to deterioration, but the characteristics of the product to be stored are related to the type and operational parameters of these refrigerating chamber, since there are parameters, such as; Temperature and relative humidity, suitable for the conditioning of foods according to their peculiarities, as well as the energy consumption of these equipments. Deficiency in product acquisition, operation, maintenance and supervision of refrigerating chamber favor microbiological growth, metabolic activities, enzymes, chemical reactions and consequently the increase of food deterioration. Care and techniques are necessary to reduce the risks of microbiological growth and loss of consistency in the food preserved inside these refrigeration chambers.

KEYWORDS: perishable foods, energy consumption, refrigeration chambers.

INTRODUÇÃO

A conservação de perecíveis por refrigeração como às câmaras frigoríficas que usam a temperatura baixa como meio de eliminar ou retardar a atividade dos agentes de deterioração como: crescimento e atividade de microrganismos, atividade metabólica de tecidos animais e vegetais após o sacrifício e colheita, enzimas e reações químicas. O armazenamento frigorífico pode ser temporário ou em curto prazo, armazenagem em longo prazo e armazenagem congelada, sendo que o alimento tem temperatura e umidade apropriadas para armazenamento. Alguns vegetais são particularmente sensíveis à temperatura e umidade relativa. A Tabela (1) mostra o tempo de armazenagem em relação à temperatura e umidade relativa adequada para alguns vegetais (TROTT, 2000; CENCI, 2006; ARDENTE et al., 2015).

Tabela 1. Temperatura e umidade (UR) recomendadas para o armazenamento comercial e o tempo de conservação para alguns vegetais.

Produto	Vida Útil (Dias)	Temp. (°C)	UR %
Abacaxi	14-28	10-14	85-90
Banana	7-35	12-14	90-95
Goiaba	14-21	10-12	85-90
Laranja	21-56	4,4-7,2	85-90
Manga	14-25	8-12	85-90
Mamão	7-21	7-12	85-90
Uva	56-180	1,1-2,2	90-95
Brócolis	7-15	0,0-2,0	90-98
Alface	7-15	0,0-2,0	90-98
Cenoura	7-15	0,0-2,0	90-98
Alho Porró	7-15	0,0-2,0	90-98

Fonte: (CENCI, 2006)

Para projetar uma câmara frigorífica para estocagem deve ter a temperatura e umidade de armazenamento como também a temperatura de entrada do produto, sendo que o resfriamento ou pré-resfriamento do produto é diferente do armazenamento, pois o perecível entra na câmara a uma temperatura alta (usualmente temperatura de colheita ou de abate) e é resfriado o mais rápido possível para temperatura de armazenamento com velocidade de ar alta na câmara sendo reduzida a velocidade após a temperatura adequada de estocagem (RODRIGUEZ et al., 2017). O uso da mesma câmara frigorífica, seja para resfriamento como para armazenamento, não é recomendado para carnes e produtos similares que são muito sensíveis à temperatura e umidade oscilantes. O tratamento do produto durante o período de resfriamento tem grande influência na sua qualidade final e tempo de armazenamento. A umidade deve ser mantida a um nível alto quando o produto está sendo resfriado para evitar a desidratação do produto, alguns produtos como carne de aves e peixes são muitas vezes resfriados com escamas de gelo para reduzir a perda de umidade, pela mesma razão, os ovos são mergulhados num óleo leve mineral antes do resfriamento e armazenagem (RODRIGUEZ et al., 2017). Alguns vegetais e frutas são pré-refrigerados por inundação ou pulverização do produto com água resfriada ou imersão em um banho agitado de água resfriada. A inundação é completada, agitando-se o produto com um suprimento livre de água resfriada escoando por gravidade dos reservatórios suspensos, enquanto que a pulverização é completada pelo uso de bicos de pulverizadores suspensos, em alguns casos é usado processo de refrigeração a vácuo (DOSSAT, 1980; CENSI, 2006).

Um produto alimentício tem que estar fresco e em boas condições para o armazenamento refrigerado, pois a refrigeração não restaura a qualidade do produto já comprometida e as condições de armazenagem leva em considerações o tipo de produto. A armazenagem mista é possível dependendo do período e da influencia que certos produtos irão fazer em outros, como por exemplo, odor e sabor absorvidos, alguns produtos desprendem ou absorvem odores quando armazenados e alguns liberam gases como o etileno que altera a maturação em vegetais (CURUTCHET et al., 2014; RODRIGUEZ et al., 2017). No caso do congelamento, os seguintes fatores regulam a qualidade máxima e duração de armazenagem: natureza e composição do produto a ser congelado, cuidado na seleção, manipulação e preparo do produto

para congelamento, método de congelamento e condições de armazenamento. Por exemplo, as carnes de porco e peixe devido à instabilidade dos seus tecidos gordurosos são congeladas rapidamente, por outro lado, a carne de vaca, frequentemente é envelhecida no frigorífico por alguns dias antes do congelamento. Os vegetais e frutas devem ser colhidos no auge da maturidade, devendo ser preparados e congelados o mais rápido possível, para evitar mudanças químicas indesejáveis através da ação das enzimas e dos microrganismos. Depois de limpos, os vegetais são branqueados em água quente ou vapor de água em torno de 100°C e depois resfriados rapidamente a fim de destruir as enzimas naturais, sendo que muitas bactérias sobrevivem ao branqueamento. A temperatura baixa não destrói as enzimas que catalisam a oxidação em frutas congeladas, pois mesmo em produtos ao redor de -18°C existe atividade enzimática a uma taxa lenta, portanto, deve-se ter cuidado com a armazenagem destes produtos (DOSSAT, 1980; TROTT, 2000; DAIUTO & VIEITES, 2008; CURUTCHET et al., 2014; RESA et al., 2016).

A desidratação é um dos principais fatores que limitam a duração do armazenamento, mas é bastante reduzida ou até evitada por embalagem apropriada (KNABBEN et al., 2011). Os produtos alimentícios não embalados em câmaras de congelados perdem continuamente umidade para o ar por sublimação que leva a condição de queima por congelamento, dando ao produto uma aparência branca semelhante a couro. A queima por congelamento é usualmente completada por oxidação, mudanças de cor, e perda de teor vitamínico. A temperatura exata requerida para armazenamento congelado não é crítica, contanto que ela não oscile. Usualmente, -18°C para armazenamento em curto prazo (varejo), -21°C em longo prazo (atacado), produtos com gorduras instáveis é preferido à temperatura de -23°C. As variações exageradas e prolongadas de temperatura nas câmaras com temperaturas negativas causam degelo e recongelamento de alguns do suco do produto. Levando o aumento dos cristais de gelo no alimento que resulta no mesmo tipo de dano celular como ocorre com congelamento lento, como também, o aumento do consumo energético (DOSSAT, 1980; TROTT, 2000; HERMES et al., 2013).

Muitos materiais de embalagem não oferecem proteção completa contra a desidratação, a umidade relativa deve ser conservada a um nível elevado (de 85% a 90%) nas salas de estocagem congelado, principalmente para estocar em longo prazo e o posicionamento do produto é essencial, pois é necessário permitir a circulação de ar ao redor do produto e respeitar a altura máxima de estocagem, também deixando uma boa dimensão de espaço de ar entre o produto armazenado e as paredes da câmara frigorífica para uma boa circulação de ar, evitando também, troca de calor do produto com as paredes (TROTT, 2000; SOARES et al., 2015).

Para evitar grandes variações de temperatura e umidade numa câmara frigorífica, vários cuidados são necessários como o dimensionamento correto da câmara fria de acordo com o produto alimentício, adequada manutenção e operação. Pois, as velocidades das reações químicas aumentam com o aumento da temperatura segundo a teoria das colisões na Equação (1) e a regra de Van't Hoff demonstra que reações em certas condições duplicam a cada 10 graus no aumento da temperatura e certas temperaturas favorecem o crescimento microbiológico, como também, a atuação das enzimas (ATKINS, 2007; TORTORA, 2012).

$$\text{Velocidade de reação} = \sigma \cdot V_{\text{rel}} \cdot N_A^2 \cdot [A][B] \cdot e^{(-E_{\text{min}}/RT)} \quad (1)$$

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Carga térmica

O calor total removido no interior de uma câmara frigorífica chama-se carga térmica e depende de diversos fatores tais como: dimensões da câmara, produtos armazenados, diferença de temperatura com o meio externo, isolamento térmico, embalagens entre outros. Atualmente, existem vários softwares projetados para calcular a carga térmica, como também, o dimensionamento dos equipamentos necessário para funcionamento da câmara de armazenamento de alimentos por meio do frio (HEATCRAFT, 2014a; TROTT, 2000; ALVES et al., 2014).

2.1.1 Carga térmica de transmissão (Q₁)

Existe uma diferença de temperatura entre o interior da câmara e o meio externo, este gradiente de temperatura faz com que o calor penetre pelas paredes, teto e piso da câmara fria. A carga térmica de transmissão pode ser calculada pela Equação (2).

$$Q_1 = U \cdot A \cdot (T_e - T_{ia}) \cdot 24h \quad (2)$$

2.1.2 Carga térmica de produtos (Q₂)

O calor sensível e latente removido dos produtos é a carga térmica de produtos, no caso de apenas reduzir a temperatura dos produtos antes do ponto de congelamento, considera somente o calor sensível e se ultrapassar o ponto de congelamento dos produtos, considera o calor sensível com o calor latente. A Equação (5) mostra a carga térmica dos produtos, sendo que a Equação (3) mostra o calor sensível e a Equação (4) o calor latente.

$$Q_s = m \cdot C_p (T_f - T_i) \quad (3)$$

$$Q_L = m \cdot L \quad (4)$$

$$Q_2 = Q_s + Q_L \quad (5)$$

2.1.3 Carga térmica de embalagens (Q₃)

A carga térmica de embalagens é o calor sensível retirado do material das embalagens, sendo definida pela Equação (6). Entretanto, se a quantidade de material utilizado na embalagem do produto não atingir 10% do seu peso bruto total do alimento, o seu cálculo é desnecessário para congelamento que não é rápido.

$$Q_3 = m \cdot C_p \cdot dT \quad (6)$$

2.1.4 Carga térmica de infiltração / troca de ar (Q_4)

O calor que invade a câmara através do fluxo de ar externo que acontece quando a porta da câmara é aberta e pode ser minimizado com instalação de cortinas de ar e até uma antecâmara. A Equação (7) demonstra como esta quantidade de calor pode ser calculada. O número de trocas de ar recomendado pode ser encontrado em tabela específica e câmaras com pouca abertura de portas devem-se multiplicar os valores das trocas de ar em 24 horas por 0,6 e nos casos de armazenamento de vegetais ou de câmaras que haja pessoas trabalhando no seu interior, deve-se considerar a introdução artificial de ar externo para diluir concentrações de gases emitidos no seu interior, sendo que este ar introduzido não é o de abertura das portas.

$$Q_4 = n \cdot V \cdot [(h)_{\text{ext}} - h_{\text{int}}] \cdot \rho \cdot c_p \quad (7)$$

2.1.5 Carga térmica de pessoas (Q_5)

Esta carga térmica é gerada pelo número N de pessoas que entram ou trabalham no interior da câmara e pode ser calculada pela Equação (8), sendo o fator de equivalência por pessoa G encontrada em tabela específica.

$$Q_5 = N \cdot t \cdot G \quad (8)$$

2.1.6 Carga térmica de iluminação (Q_6)

É o calor gerado pelas lâmpadas no interior da câmara fria, considerando o tempo em que elas ficam ligadas e pode ser calculado pela Equação (9).

$$Q_6 = 0,86 \cdot P \cdot t \quad (9)$$

2.1.7 Carga térmica de motores e resistências (Q_7)

A carga térmica gerada por motores e resistências que estão instalados dentro da câmara e considera o tempo que os mesmos permanecem ligados. Pode ser calculada pelas Equações (10), (11) e (12).

$$Q_{7\text{motor}} = 641,32 \cdot P_{\text{motor}} \cdot t \quad (10)$$

$$Q_{7\text{resistência}} = 641,32 \cdot P_{\text{resistência}} \cdot t \quad (11)$$

$$Q_7 = Q_{7\text{motor}} + Q_{7\text{resistência}} \quad (12)$$

2.1.8 Carga térmica total (QT)

O somatório de todas as cargas térmicas é a carga térmica total que é definida pela Equação (13).

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_6 + Q_7 \quad (13)$$

2.2 Carga de produtos

A utilização de 70% do espaço útil da câmara frigorífica garante um bom acondicionamento de produtos com 30% de espaço livre para as trocas de ar, Equação (14), que usa tabela específica para densidades de produtos ρ .

$$CT = V \cdot \rho \cdot 70\% \quad (14)$$

124

2.2.1 Carga rotativa diária da câmara

A carga rotativa diária é usada para o cálculo da carga térmica é 30% da carga total, Equação (15):

$$CR = CT \cdot 30\% \quad (15)$$

2.3 Diferencial de temperatura (DT)

A umidade relativa no interior da câmara deve ser ajustada de acordo com o tipo de alimento armazenado, pois valores não recomendados comprometem a qualidade do produto. O diferencial de temperatura (DT) que é a diferença de temperatura interna da câmara e a temperatura de evaporação do fluido refrigerante no evaporador tem uma influência direta na umidade no ambiente refrigerado. Armazenamento de vegetais, produtos agrícolas, flores, gelo sem embalagens e câmaras para resfriamento necessitam de um (DT) de 4°C a 5°C para uma umidade relativa de 90%. Se o (DT) aumenta, a umidade relativa também aumenta, pois um (DT) de 6°C a 7°C leva uma umidade relativa de 85% a 80% e um diferencial de temperatura de 7°C a 9°C para uma umidade de 80% a 65%.

2.4 Vazão de ar em câmaras frigoríficas.

Não há um critério para a velocidade do ar e a quantidade exata de trocas dentro da câmara fria, mas recomenda-se entre 40 a 80 trocas/h, segundo a Equação (16).

$$T_{ar} = V^{\wedge} \cdot V^{\wedge}(-1) \quad (16)$$

2.5 Especificação dos equipamentos

Os dados a serem levados em consideração para especificar os equipamentos são: balanceamento dos equipamentos, diferencial de temperatura (DT), controle de capacidade e segurança do sistema, tipo de operação e fluxo de ar. Equipamentos com melhor desempenho do que outros podem ser usados, como uma válvula de expansão eletrônica no lugar de uma válvula de expansão termostática e controles de capacidade, vazão e velocidade.

2.6 Fatores que influem na qualidade dos alimentos em câmaras frigoríficas

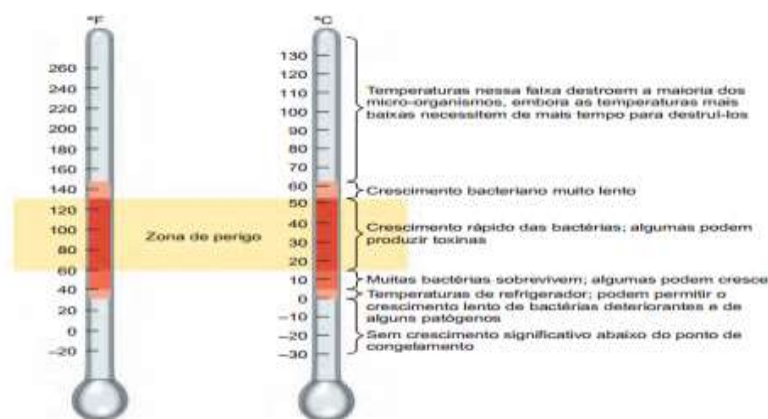
2.6.1 Operação Manutenção e Controle

Os fatores que influenciam na qualidade dos alimentos são variados, sendo a manutenção, operação e controle da câmara frigorífica fundamental. Para um bom funcionamento, estes itens são necessários: check list diário por turno de temperatura, umidade e anomalias, registro de dados, verificar cabos e conexões elétrica (pontos quentes e reaperto de terminais), verificar barulhos e vibrações anormais, limpeza e desobstrução do evaporador e dreno quando necessário, medição de tensão e correntes elétricas, evitar limpeza da câmara com excesso de água para evitar infiltrações e com produto que agrida sua estrutura, verificar isolamentos e vedação da porta, verificar parâmetros e regulagens de relés e pressostatos, limpeza e manutenção da unidade condensadora (HEATCRAFT DO BRASIL, 2014a)

2.6.2 Micro-organismo

Existe uma faixa de temperatura em que muitos microrganismos se desenvolvem a uma taxa rápida, conforme Figura (1), inclusive patógenos que desenvolvem toxinas e esporos resistentes a grandes diferenças de temperaturas e pH. Muitos micro-organismos são responsáveis pela deterioração dos alimentos e causar doenças como, por exemplo: há vários alimentos relacionados com salmonelas, a maioria deles de origem animal ou contaminados por alimentos de origem animal, alguns fungos produzem micotoxinas como aflatoxinas e bactérias como pseudomonas são comuns na deterioração de pescados, carnes, aves, leites e derivados, provocando problemas, tais como, limosidade superficial e odores desagradáveis devido a atividade proteolítica e lipolítica (SIQUEIRA, 1995; TORTORA, 2012; CURUTCHET et al., 2014).

Figura 1. Melhor temperatura para desenvolvimento das bactérias



Fonte: TORTORA, 2012.

A Tabela (2) mostra que algumas horas é o suficiente para que milhares de bactérias se reproduzam, os dados seguintes foram recolhidos utilizando uma cultura de pseudomonas durante o crescimento num

meio de cultura. O crescimento microbiológico esta dentre os fatores que contribuem para o apodrecimento do alimento e transmissão de doenças, portanto o tempo deficiente de resfriamento pode agravar a qualidade do alimento. Principalmente se a temperatura esta na faixa de crescimento rápido das bactérias, sendo assim, deve acontecer o resfriamento rápido no abate e colheita do alimento (MAIER, 2008; TORTORA, 2012).

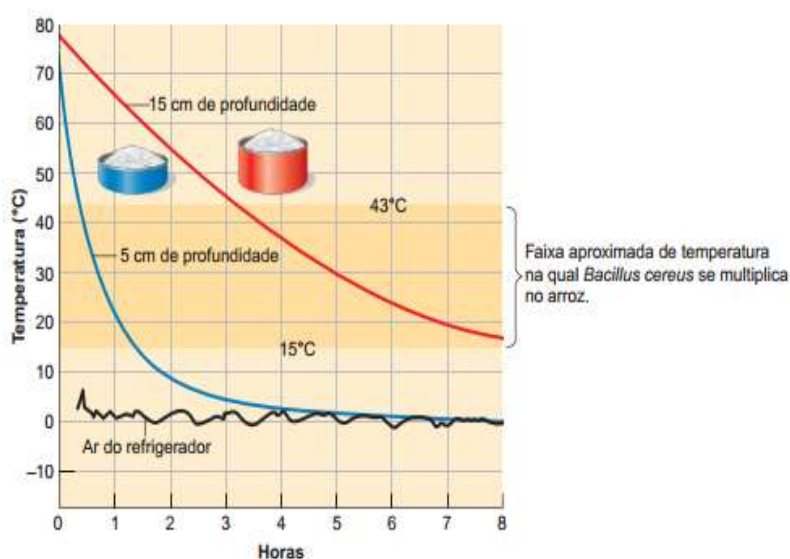
Tabela 2. Crescimento de pseudomonas num meio de cultura em relação ao tempo.

Tempo (h)	Contagem de células viáveis (UFC.mL ⁻¹)
0	1,2 x 10 ⁴
4	1,5 x 10 ⁴
6	1,0 x 10 ⁵
8	6,2 x 10 ⁶
10	8,8 x 10 ⁸
12	3,7 x 10 ⁹
16	3,9 x 10 ⁹
20	6,1 x 10 ⁹
24	3,4 x 10 ⁹
28	9,2 x 10 ⁸

Fonte: MAIER, 2008

Na Figura (2) uma quantidade de arroz é resfriada até a temperatura média de conservação de um refrigerador, sendo que quanto maior a profundidade mais tempo leva para chegar na temperatura de conservação e passa um período maior na faixa de temperatura na qual a bactéria *Bacillus cereus* se multiplica. A taxa de refrigeração, ou seja, o tempo de redução da temperatura nos alimentos tem que ser eficiente para evitar a proliferação de micro-organismos e infestações de doenças (TORTORA, 2012; SCHAFFNER, 2015).

Figura 2. Tempo de resfriamento de acordo com a profundidade do arroz



Fonte: TORTORA, 2012

2.6.3 Enzimas e reações químicas

Enzimas aceleram reações químicas nos alimentos que contribuem para sua maturação e deterioração, sendo que a manutenção da cor nos vegetais minimamente processados representa aspecto crítico em razão da maioria deles ser susceptível ao escurecimento enzimático, causado pelas enzimas polifenoloxidase e peroxidase, que devem ser controladas sem que ocorram prejuízos sensoriais ou nutricionais aos produtos. A refrigeração reduz a ação das enzimas e diminui a velocidade das reações químicas que contribuem para degradação do alimento tanto vegetal e animal. Alguns vegetais são branqueados antes de serem refrigerados, mas quando o branqueamento não é efetivo para neutralizar as enzimas ocorre escurecimento, sendo assim, necessário o controle de temperatura para reduzir a ação das enzimas e fatores de deterioração. (DAIUTO & VIEITES, 2008; SILVA et al., 2009).

2.6.4 Temperatura e Umidade

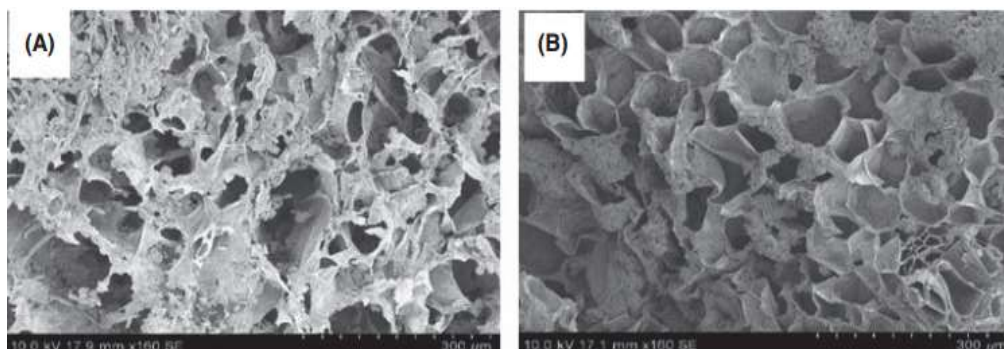
A redução rápida da temperatura é uma situação crítica quando o alimento sai do abate ou colheita, pois a qualidade do alimento e o tempo de conservação são influenciados por estes fatores. Alimentos que chegam ao fornecedor em temperatura adequada, mas demoraram a serem resfriados rapidamente, perdem qualidade, portanto, técnicas com aumento da velocidade do ar frio e da condução térmica são usadas para assegurar o abaixamento da temperatura (DIRITA, et al., 2007; TROTT, 2000).

A redução da temperatura retarda o amadurecimento das frutas e reduz a ação de enzimas que catalisam reações de oxidações escurecendo os vegetais como a pera, de acordo com WANG et al.(2017). A perda de água do alimento em consequência da umidade relativa inadequada é uma realidade e a variação da temperatura excessiva causa danos ao produto perecível, entretanto, nos alimentos congelados, os danos são agravados rapidamente devidos os cristais de gelo nas células e a mudança da concentração dos líquidos. Quando um alimento é descongelado e volta a ser congelado, ocorre um aumento significativo nos cristais de gelo dentro do alimento danificando sua estrutura celular, modificando as qualidades organolépticas. Esta variação de temperatura em alimentos resfriado e congelado faz com que os alimentos sofram cristalizações e aumento de fatores que contribuem para deterioração, como crescimento microbiológico, ativações de enzimas, reações químicas (TROTT, 2000; SINGHA e MUTHUKUMARAPPAN, 2015).

2.6.3 Cristais de gelo

Os cristais de gelo são formados nas células animais e vegetais no processo de congelamento, sendo que o método de congelamento e descongelamento pode aumentar o tamanho desses cristais e causar danos às células, modificando assim, as qualidades organolépticas dos alimentos. Amostras de gengibre foram submetidas a vários processos de congelamento e descongelamento, obtendo alterações de cor e na estrutura interna como mostra a Figura (3), sendo o congelamento lento mais danoso. Quando o congelamento é rápido o tamanho dos cristais é menor e o recongelamento torna os cristais de gelo maiores (SMAN et al.,2013; SINGHA e MUTHUKUMARAPPAN, 2015).

Figura 3. Micrografia eletrônica da estrutura celular do gengibre, em A após congelamento lento e em B depois do congelamento rápido



Fonte: SINGHA e MUTHUKUMARAPPAN, 2015

2.6.4 Atmosfera controlada

A redução de oxigênio e controle de outros gases provenientes do metabolismo de alimentos vegetais e animais após a colheita e sacrifício podem ser controlados para aumentar o tempo de conservação em câmaras frias. O cuidado de saber os gases que o produto exala e a sensibilidade do alimento a exposição de certos gases é fundamental para saber se o produto pode ser armazenado em conjunto com outros alimentos ou não. Por exemplo, alguns vegetais produzem grande quantidade de etileno que em relação a outros, conforme Tabela (3) e existem aqueles que são muito sensíveis ao etileno como brócolis, alface, cenoura e alho porró em contraste com outros vegetais (CENCI, 2006).

Tabela 3. Grupos de frutas tropicais compatíveis:

Produção de etileno	Produtos
Baixa	Caju e coco seco
Baixa	Abacaxi e carambola
Moderada e alta	Abacate e goiaba
Moderada e alta	Banana, manga, mamão, maçã e fruta do conde
Altíssima	Maracujá

Fonte: CENSI, 2006.

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Consulta bibliográfica

Foi realizada uma consulta bibliográfica de vários fatores que influenciam o funcionamento de câmaras frigoríficas e sua relação com os alimentos. Fatores como variação de temperatura e umidade, taxa de resfriamento, eficiência energética e dispositivos de expansão.

3.1.1 Influência da variação da temperatura e umidade.

O alimento perecível tem que ser recebido para armazenamento em temperatura e umidade relativa apropriada, entretanto, na cadeia do frio a temperatura e a umidade podem sofrer variações que

comprometem a qualidade do alimento. Já foram monitoradas as condições operacionais do transporte frigorificado urbano de alimentos resfriados e congelados durante as entregas dos produtos e avaliado a influência das aberturas das portas da câmara nas alterações das temperaturas internas do ambiente frigorificado. O sistema de refrigeração utilizado pela frota de caminhões da empresa avaliada que produziu os alimentos transportados apresenta limitações quanto à manutenção da temperatura interna da câmara durante a rotina real de distribuição, pois não possui capacidade instantânea suficiente para retomar a temperatura adequada entre as entregas (PEREIRA et al., 2010).

3.1.2 Taxa de resfriamento

Equipamentos de refrigeração devem ser eficientes para refrigerar os alimentos em tempo adequado para evitar fatores de deterioração e doenças causadas por micro-organismos, a profundidade do alimento retarda sua refrigeração para temperatura estimada e a Administração de Drogas e Alimentos dos Estados Unidos (FDA) recomenda uma taxa de resfriamento para alimentos cozinhados seja de 57°C para 21°C dentro de 2 horas e de 21°C para 5°C dentro de 4 horas. Os dados coletados pelos Centros para Controle e Prevenção de Doenças dos Estados Unidos (CDC) mostram que práticas impróprias de resfriamento contribuíram para mais de 500 surtos de doenças transmitidas por alimentos associados com restaurantes nos Estados Unidos entre 1998 a 2008 (CHAFFNER et al., 2015).

3.1.3 Eficiência energética.

A eficiência energética do sistema frigorífico está associada a sua capacidade frigorífica pelo gasto de energia e fatores para melhorar o rendimento do sistema com melhor controle de temperatura e umidade são inovados com o passar do tempo. Controle de temperatura por dois pontos está ultrapassado, pois o controle de temperatura modular é mais eficiente. O controle modular é feito variando diversos fatores como, o fluxo de refrigerante, a velocidade dos motores e pressões. Controle eletrônico por sensores associado com sistema de supervisão e aquisição de dados que pode ser acessado em rede ou remoto melhora a operacionalidade do sistema frigorífico e a automação com sistemas de controle estão sendo crescentes no mercado. Conceitos básicos de manutenção e operação como manter a vedação das portas da câmara fria em bom estado, degelos periódicos quando a camada de gelo no trocador de calor atingir mais de 1cm, regular os setpoints de temperaturas corretamente, evitar fontes de calor externas na unidade condensadora levará a uma economia de energia e melhor rendimento do sistema (REVISTA FRIO e AR CONDICIONADO, 2017).

3.1.4 Dispositivos de expansão

A válvula de expansão eletrônica está crescendo no mercado e tem mostrado em estudos comparativo com dispositivo de expansão fixo como tubo capilar ser mais eficiente, ou seja, o coeficiente de desempenho (COP) do sistema de refrigeração com válvula de expansão eletrônica é maior. Já em estudo

comparativo da válvula de expansão eletrônica com a válvula de expansão termostática, a válvula de expansão eletrônica mostrou melhor desempenho com economia de energia e controle fino do superaquecimento (COSTA, 2014; HEATCRAFT DO BRASIL, 2014b).

3.2 Modelagem do ciclo simples de compressão a vapor utilizando o fluido refrigerantes R134a.

O sistema foi modelado fixando as pressões de baixa em 106,5 kPa e a de alta em 1161kPa do ciclo de refrigeração com o superaquecimento inicial de 5 graus e um subresfriamento de 8 graus, sendo alterado o superaquecimento com a premissa de que variando-se 1 grau de temperatura no subresfriamento, há uma variação média de 3 graus de temperatura no superaquecimento, simulando assim, aumento de carga térmica no evaporador. Caminhões frigoríficos e sistemas que sofrem grande variação na carga térmica podem não conseguir retirar a quantidade do calor no evaporador em tempo hábil para refrigerar o alimento perecível e evitar grandes flutuações na temperatura. Dispositivos de expansão adequados são de suma importância para corrigir esta variação quando possível, pois eles são dimensionados de acordo com o superaquecimento do sistema, sendo que a válvula de expansão eletrônica tem um controle com mais precisão do superaquecimento (COSTA, 2014; HEATCRAFT DO BRASIL, 2014a, 2014b; CHAFFNER et al., 2015). Utilizando o programa computacional, foi simulado que o ciclo simples de compressão a vapor teve seu superaquecimento variando de 5,0 °C até 28,7°C, sofrendo uma mudança no título, como mostra a Tabela (4). Aconteceu um aumento do título quando aumentava o superaquecimento.

Tabela 4. Modificação do título após variação do superaquecimento.

Superaquecimento °C	Título
5,0000	0,2797
7,6330	0,2847
10,2670	0,2897
12,9000	0,2947
15,5300	0,2998
18,1700	0,3048
20,8000	0,3099
23,4300	0,3150
26,0700	0,3201
28,7000	0,3253

RESULTADO E DISCUSSÃO

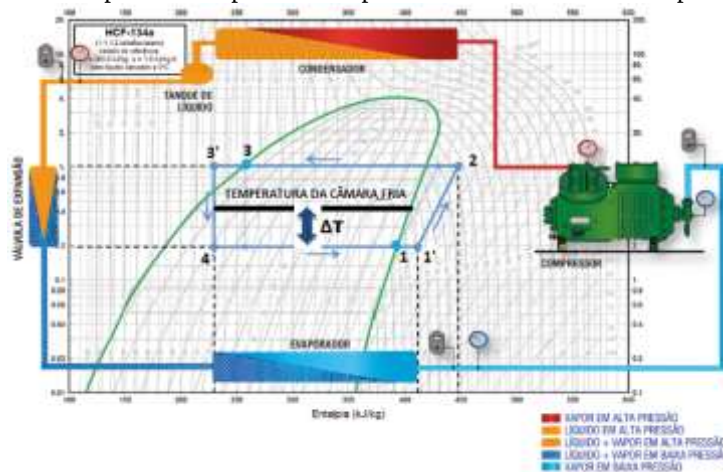
O sistema frigorífico é projetado com uma faixa de subresfriamento e superaquecimento adequada para maior eficiência energética, entretanto, algumas vezes devida uma carga térmica excessiva ou anomalias no sistema, a eficiência energética é reduzida por causa desta faixa de trabalho do subresfriamento e superaquecimento não poder ser atingida. A Figura (4) ilustra um ciclo simples de compressão a vapor onde 3' é o subresfriamento e 1' o superaquecimento, sendo que estes valores podem mudar devido a vários fatores, inclusive a variação da diferença de temperatura entre a câmara fria e a temperatura de evaporação do fluido refrigerante no evaporador (ΔT). Quando o gradiente de temperatura entre a câmara fria e o fluido

refrigerante no evaporador aumenta, a troca de calor no evaporador também aumenta e o fluido refrigerante evapora depressa percorrendo um menor percurso no evaporador na forma líquida. Com isso, o superaquecimento aumenta, pois o fluido refrigerante é mais superaquecido com um ΔT maior.

Produtos perecíveis sem embalagens ou os quais as embalagens não protegem apropriadamente são muito dependentes da temperatura e principalmente da umidade na sua conservação. O ΔT também define a umidade relativa no interior da câmara frigorífica, portanto uma variação prolongada e demasiada na temperatura pode causar danos irreversíveis aos alimentos perecíveis, pois sua conservação está atrelada a temperatura com a umidade relativa. Um dispositivo de expansão eficiente é essencial para minimizar o efeito do ΔT , pois quando existe um aumento no superaquecimento, a válvula de expansão com uma maior abertura libera mais fluido refrigerante para o evaporador com a finalidade de reduzir o superaquecimento e minimizar esta variação de temperatura na câmara fria. Quando ocorre uma diminuição do ΔT , a troca de calor no evaporador também diminui e o fluido refrigerante demora a evaporar, percorrendo um maior percurso no evaporador na forma líquida, reduzindo o superaquecimento. Para evitar retorno de líquido para o compressor depois da redução do superaquecimento, a válvula de expansão reduz sua abertura restringindo a passagem de fluido refrigerante para o evaporador. Esta redução da abertura da válvula de expansão faz a pressão cair um pouco no evaporador, como também, a abertura da válvula faz a pressão subir um pouco. Esta pequena redução de pressão no evaporador aumenta o gradiente de temperatura e consequentemente o superaquecimento, já que o fluxo de refrigerante foi reduzido no evaporador pelo dispositivo de expansão.

Manutenção e operação inadequadas fazem o sistema frigorífico ficar fora da faixa de superaquecimento e subresfriamento ideal, como por exemplo, aberturas excessivas de portas em câmaras fria, caminhões frigoríficos ou qualquer sistema de refrigeração que trabalhe com evaporadores de ar forçado faz a carga térmica aumentar além das especificações do projeto. No caso das câmaras frias, cortinas de ar e anticâmara são utilizadas para minimizar o aumento da carga térmica por causa das infiltrações de ar. Se o equipamento não recebe manutenção periódica, também não funciona corretamente.

Figura 4. Ciclo simples de compressão a vapor com subresfriamento e superaquecimento

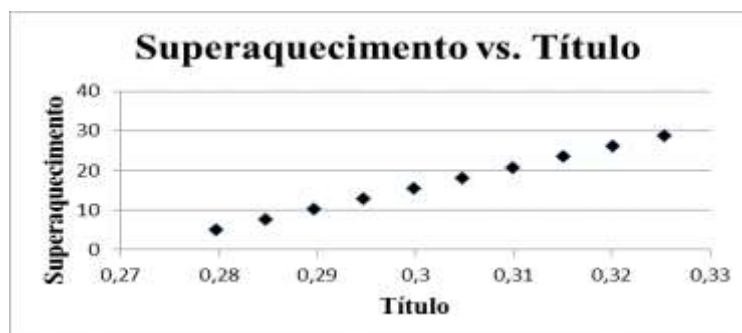


. Fonte: Adaptado de (HEATCRAFT, 2014a)

4.1 Variação do título em reação ao superaquecimento

Quando o subresfriamento diminui, o título aumenta e quando o superaquecimento aumenta, o título também aumenta. Isso porque o subresfriamento trabalha em conjunto com o superaquecimento, em outras palavras, uma afeta o outro. A Figura (5) representa graficamente a variação do título em relação ao aumento do superaquecimento. Quanto maior o título, menor será o efeito refrigerante porque mais vapor entrará no evaporador e consequentemente menos líquido vai evaporar.

Figura 5. Variação do título em relação ao aumento do superaquecimento.



CONCLUSÕES

Um sistema dimensionado erroneamente não pode atingir os objetivos de refrigerar adequadamente o alimento perecível e novas tecnologias podem minimizar a flutuação de temperatura e umidade nas câmaras frigoríficas, pois são fatores primordiais para conservação dos alimentos. Mas, se o produto perecível sofre grande variação de temperatura na cadeia do frio, como no transporte em caminhões frigoríficos, a sua qualidade já está comprometida e a refrigeração não vai restaurar a condição salutar do produto.

Doenças podem ser transmitidas por micro-organismos em alimentos, pois estes também contribuem para sua deterioração, por isso, é essencial saber a procedência do alimento e se desde o abate ou colheita a conservação é feita e mantida na cadeia do frio.

Segundo as observações obtidas, conclui-se que a qualidade dos alimentos e o consumo energético estão atrelados com técnicas de armazenamento, operação e manutenção adequadas de câmaras frigoríficas, como também, equipamentos com melhor tecnologia operacional.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Cnpq pelo financiamento do projeto de pesquisa (Universal-402323/2016-5), assim como à FACEPE/CAPES pelo financiamento através do projeto de pesquisa (APQ-0151-3.05/14).

REFERÊNCIAS

ALVES, O., BRITO, P., LOPES, P., REIS, P. Optimization of Energy Consumption in **Cold Chambers in the Dairy Industry**. *Energi Procedia*, v. 50, n. 1, p. 494-503, 2014.

ARDENTE, F., PASTOR, M.C, MATHIUEX, F., PEIRÓ, L.T. Analysis of end-of-life treatments of commercial refrigerating appliances: Bridging product and waste policies. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 101, n. 1, p. 42-52, 2015.

ATKINS, P.; LORETTA, J. **Questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006, P. 606-609.

CENCI, S. A. Boas Práticas de Pós-colheita de Frutas e Hortaliças na Agricultura Familiar. In: Fenelon do Nascimento Neto. (Org.). **Recomendações Básicas para a Aplicação das Boas Práticas Agropecuárias e de Fabricação na Agricultura Familiar**. 1a ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006, p. 67-80.

COSTA, F.N. **Análise Comparativa da Válvula de Expansão Eletrônica e do Tubo Capilar em Sistemas de Refrigeração**. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, SP, 2014.

CURUTCHET, A., DELLACASSA, E., RINGUELET, J.A., CHAVES, A.R., VIÑA, S.Z. Nutritional and sensory quality during refrigerated storage of fresh-cut mints (*Mentha* × *piperita* and *M. spicata*). **Food Chemistry**, v. 143, n. 1, p. 231-238, 2014.

DAIUTO, E.R.; VIEITES, R.L. Atividade da peroxidase e polifenoloxidase em abacate da variedade Hass, submetidos ao tratamento térmico. **Ilberoamericana de Tecnologia Postcosecha**, 2008.

DIRITA, C.; BONIS, M.V.; RUOCCO, G. Analysis of food cooling by jet impingement, including inherent conduction. **Journal of Food Engineering**, 2007.

DOSSAT, R. J. **Manual de Refrigeração**. São Paulo: Hemus, 1980. V.2, p. 240-258.

HEATCRAFT DO BRASIL, **Treinamento Técnico Avançado**, 2014a.

HEATCRAFT DO BRASIL, válvulas de expansão eletrônicas, vantagens no controle e gestão energética em aplicações de refrigeração. In: **9º Congresso Internacional de Ar Condicionado, Refrigeração, Aquecimento e Ventilação, MERCOFRIO**, 2014b. Porto Alegre, RS.

HERMES, C.J.L., MELO, C., KNABBEN, F.T. Alternative test method to assess the energy performance of frost-free refrigerating appliances. **Applied Thermal Engineering**, v. 50, n. 1, p. 1029-1034, 2013.

KNABBEN, F.T., MELO, C., HERMES, C.J.L. In-situ study of frosting and defrosting processes in tube-fin evaporators of household refrigerating appliances. **International Journal of Refrigeration**, v. 34, n. 8, p. 2031-2041, 2011.

MAIER, M.R.; PEPPER, L.I.; GERBA, P. C. *Environmental Microbiology*. **2 th. Academic Press**, 2008, p.37-46.

PEREIRA, V.F.; DORIA, E.C.B.; JÚNIOR, B.C.C.; FILHO, L.C.N.; JÚNIOR, V.S. Avaliação de temperatura em câmaras frigoríficas de transporte urbano de alimentos resfriados e congelados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 2010.

RESA, C.P.O., GERSCHENSON, L.N., JAGUS, R.J. Starch edible film supporting natamycin and nisin for improving microbiological stability of refrigerated argentinian Port Salut cheese. **Food Control**, v. 59, n. 1, p. 737-742, 2016.

REVISTA DO FRIO, **Automação e controle, um mercado em franco crescimento**, 2017. Disponível em: <<http://revistadofrio.com.br/site/wp-content/uploads/2017/03/combinepdf-1.pdf>>. Acesso em : 15/03/2017.

RODRIGUEZ, D., BEJARANO, G., ALFAYA, J.A., ORTEGA, M.G., CASTAÑO, F. Parameter identification of a multi-stage, multi-load-demand experimental refrigeration plant. **Control Engineering Practice**, v. 60, n. 1, p. 133-147, 2017.

SCHAFFNER, D.W.; BROWM, L.G.; RIPLEY, D.; REMANN, D.; KOKTAVY, N; BLADE, H.; NICHOLAS, D. Quantitative data analysis to determine best food cooling in U.S. restaurants. **Journal of Food Protection**, 2015.

SILVA, M.V.da.; ROSA, C.I.L.F.; BOAS, E.V. B.V. **Conceitos e métodos de controle do escurecimento enzimático no processamento mínimo de frutas e hortaliças**. B.CEPPA, 2009

SINGHA, P.; MUTHUKUMARAPPAN, K. Quality changes and freezing time prediction during freezing and thawing of ginger. **Food Science & Nutrition**, 2015.

SIQUEIRA, R.S. **Manual de microbiologia de alimentos**. EMBRAPA, 1995.

SMAN, R.G.M.V.D.; VODA, A.; DALEN, V.; DUIJSTER, A. Ice crystal interspacing in frozen foods. **Journal of Food Engineering**, 2013.

SOARES, N.M.F., OLIVEIRA, M.S.G., VICENTE, A.A. Effects of glazing and chitosan-based coating application on frozen salmon preservation during six-month storage in industrial freezing chambers. **LWT - Food Science and Technology**, v. 61, n. 2, p. 524-531, 2015.

TORTORA, G.J.; FUNKE, B.R.; CASE, C.L. **Microbiologia**. 10. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2012. P. 115-159.

TROTT, A.R.; WELCH, T. Refrigeration an Air-Conditioning. **3th. Butterworth-Heinemann**, 2000, p. 162-192.

WANG, J.; ZHOU, X.; ZHOU, Q.; CHENG, S.; WEI, B.; JI, W. Low temperature conditioning alleviates peel browning by modulating energy and lipid metabolism of “Nanguo” pears during shelf life after cold storage. **Postharvest Biology and Technology**, 2017.

Nomenclatura

σ	Seção de choque de colisão	T_f	Temperatura final do produto (°C)
$\bar{V}_{rel}$	Velocidade média relativa	Q_L	Calor latente (Kcal)
[A]	Concentração da substância A	L	Calor latente do produto (Kcal .Kg ⁻¹)
[B]	Concentração da substância B	Q_3	Carga térmica de embalagens
N_A	Constante de Avogrado	m	Massa (Kg)
e^- E _{min} /RT	Energia cinética mínima necessária para reação química.	C_p	Calor específico do material (Kcal . Kg ⁻¹ . (°C) ⁻¹)
Q_1	Carga térmica de transmissão (Kcal .24 ⁻¹ .h ⁻¹)	dT	Diferença de temperatura (°C)
U	Coeficiente global de transmissão de calor (Kcal .h ⁻¹ .m ⁻² .°C ⁻¹)	Q_4	Carga térmica de infiltração (Kcal)
A	Área interna total da câmara (parede, piso e	n	Números de trocas por 24h (depende do tamanho

Dossiê I JIPEEIS - Primeira Jornada Internacional de Pesquisa, Ensino, Extensão, Inovação e Sustentabilidade

Condicionamento de alimentos em câmaras frigoríferas: uma visão técnica.

	teto) em m ²		da câmara)
Te	Temperatura do ambiente externo (°C)	V	Volume (m ³)
Tia	Temperatura interna da câmara (°C)	h_{ext}	Entalpia do ar externo, obtido na carta psicrométrica (Kcal .Kg ⁻¹)
Q_2	Carga térmica de produtos	h_{int}	Entalpia do ar interno, obtido na carta psicrométrica (Kcal .Kg ⁻¹),
Q_s	Calor sensível (Kcal)	var	Volume específico do ar externo, obtido na carta psicrométrica (m ³ .Kg ⁻¹)
Tar	número de trocas de ar por hora	Q_5	Carga térmica de pessoas (Kcal)
n	Número de trocas de ar	N	Números de pessoas
T _i	Temperatura inicial do produto (°C)	t	tempo (h)
G	Fator equivalência de calor pessoa (Kcal .h ⁻¹)	Q_6	Carga térmica de iluminação (kcal)
P	Potência (Watts)	QT	Carga térmica total (Kcal)
Q7	Carga térmica motores e resistências	CT	Carga máxima de produto (Kg)
V	Volume (m ³)	ρ	Densidade (kg .m ⁻³)
CR	Carga rotativa diária de produtos (Kg)	V'	vazão de todos os evaporadores na câmara (m ³ /h)