

Projeto de Dimensionamento e Seleção de Equipamentos para Uma Câmara Frigorífica de Congelamento de Carnes e Resfriamento de Laticínios – EVR2021-0026

Mateus de Albuquerque Souza Costa ^{1,*}, Adriano da Silva Marques ¹

¹ Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho, Cabo de Santo Agostinho, Pernambuco, Brasil, CEP 54518-430

* Mateus de Albuquerque Souza Costa, mateus.costa@ufrpe.br

Resumo

A indústria alimentícia condensa uma das maiores aplicações da refrigeração industrial: o armazenamento de alimentos. Esse trabalho tem como objetivo dimensionar uma câmara frigorífica para um supermercado em Corumbá – MS, que congela 15 T/dia de carne bovina e resfria 5000 L/dia de coalhada. A partir das premissas do projeto e os dados iniciais, foi realizado o cálculo da carga térmica das câmaras, seguindo o que é falado pela ASHRAE, levando em consideração as cargas de produto, infiltração, transmissão de calor, pessoas, iluminação e equipamentos. Foi realizado o dimensionamento das prateleiras levando em consideração a densidade de estocagem média, como orienta a portaria nº 711 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, e após isso, foi determinada a configuração das câmaras, levando em conta a circulação dos funcionários e o posicionamento das prateleiras de armazenamento. Para a câmara de carnes foi obtida uma carga térmica total de 313,5 kW já para a câmara de coalhadas a carga determinada foi de 38 kW. A câmara frigorífica de carnes foi dimensionada em uma área de 58,86 m² e a câmara frigorífica de coalhada em 54,94 m². Para atender as demandas frigoríficas, foram selecionadas 5 unidades evaporadoras com capacidade nominal de 72,04 kW para congelar a carne e 1 com capacidade de 48,90 kW para resfriar a coalhada. Para as etapas restantes, foram selecionadas 9 unidades condensadoras com capacidade de 38,05 kW para a carne e apenas 1 com capacidade de 38,21 kW para a coalhada. O fluido de trabalho selecionado foi o R-404A.

Paravras-chave: dimensionamento, câmara frigorífica, carga térmica, refrigeração por compressão

Introdução

Os sistemas de refrigeração são amplamente utilizados no cotidiano da humanidade. Aplicações para condicionamento de ar como o conforto térmico ou refrigeração industrial, como redução de temperatura de processos e armazenamento de produtos farmacêuticos são exemplos onde tais sistemas são encontrados. Outra aplicação importante da refrigeração industrial é o armazenamento de alimentos (Yang; Yeh, 2015).

Para o armazenamento de alimentos, são necessários ambientes com temperatura rigorosamente controlada, assim a utilização de câmaras frigoríficas se torna essencial (Vilain, 2018). Isso faz com que estabelecimentos que armazenam alimentos necessitem de projetos detalhados e específicos de câmaras frigoríficas para atender à demanda de refrigeração de cada produto armazenado, respeitando as normas relacionadas.

A presença de microrganismos nos alimentos é capaz de levar uma pessoa a óbito. Portanto, atender as especificações de temperatura para cada tipo de alimento é essencial (Adesokan et al, 2020). No caso da carne, por exemplo, a qualidade do acondicionamento é resultado de fatores como: congelamento, temperatura e tempo de estocagem (Custódio; Oliveira, 2017; 2019).

Para alimentos como a coalhada, que uma pequena variação nas condições de armazenamento, pode causar uma mudança em sua composição, torna-se ainda mais imprescindível que o ambiente de armazenamento possua

uma temperatura controlada (Correa, 2018). Como o Brasil possui um dos maiores mercados globais de exportação alimentícia perecível, cresce cada vez mais a demanda por projetos de câmara frigorífica (Neto; Ribeiro, 2020).

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar o projeto de dimensionamento e seleção de equipamentos para uma câmara frigorífica de congelamento de carnes e resfriamento de laticínios, localizada na cidade de Corumbá - MS.

Metodologia

O projeto foi desenvolvido para a cidade de Corumbá MS, congelamento de 15 T/dia de carne bovina, resfriamento de 5000 L/dia de coalhada, com oito funcionários trabalhando na câmara e três serras para corte de carne.

Inicialmente foi feito o dimensionamento das prateleiras de armazenamento das carnes, determinando o volume de estocagem:

$$V_e = \frac{M_e}{\rho_{em}} \quad (1)$$

Na qual V_e é o volume de estocagem [m³], M_e é a massa estocada [kg] e ρ_{em} é a densidade de estocagem [kg/m³].

A densidade de estocagem varia entre 400kg/m³ e 500kg/m³ de acordo com a portaria nº 711 de novembro de 1995 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

O dimensionamento das prateleiras de coalhada foi feito a partir da premissa do uso de uma embalagem de 16 L. Assim, determinou-se a quantidade de embalagens necessárias para o armazenamento:

$$N_b = \frac{5000}{V_b} \quad (2)$$

Onde N_b é o número de baldes e V_b é o volume do balde [L].

Com o resultado das duas equações acima foi possível determinar as dimensões das prateleiras para o armazenamento de ambos os produtos. Também foi realizada uma análise estrutural das prateleiras para confirmar que seriam capazes de resistir a carga que irão armazenar e também para seleção do material de fabricação. Essa análise foi feita com base nos conceitos de esforços e tensões admissíveis:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M_{m\acute{a}x}y}{I} \quad (3)$$

Na qual $\sigma_{m\acute{a}x}$ é a tensão máxima no material [Pa], $M_{m\acute{a}x}$ é o momento fletor máximo [N.m], y é a distância entre a linha neutra e a superfície da seção [m] e I é o momento de inércia [$kg.m^2$].

A partir do dimensionamento das prateleiras foi possível determinar as dimensões da câmara levando em consideração o posicionamento das prateleiras, das serras de corte de carne e a movimentação dos funcionários dentro da câmara. De acordo com Machado (2000) os produtos armazenados devem ter uma distância mínima de 50 cm das paredes e entre si, além disso deve se manter uma distância de 60 cm do teto.

Assim, foram dimensionadas duas câmaras: uma para o armazenamento de carnes e outra para armazenar coalhadas. A planta baixa que foi desenhada no AutoCad 2019.

A seleção do isolante térmico depende, prioritariamente, dos seguintes fatores: condutividade térmica, densidade, inflamabilidade, facilidade de instalação, resistência a decomposição. Além disso, deve ser isento de microrganismo, isento de odores e vapores desagradáveis e resistente à absorção de água (Chagas, 2012). Deste modo, foram avaliados: o poliuretano expandido e o poliestireno expandido.

A carga térmica total foi determinada a partir do somatório das cargas parciais atuantes no sistema e seguindo os direcionamentos indicados pela *American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE, 2010). Um código computacional na plataforma EES (*Engineering Equation Solver*) foi desenvolvido para determinar a carga térmica a partir das premissas do projeto.

Para câmaras frigoríficas de resfriamento de alimentos, a maior parte da carga térmica está associada ao processo de retirada de calor dos produtos até a temperatura de armazenamento. Assim, o calor de resfriamento é determinado por:

$$Q_{resf} = m_p c_1 (t_{ip} - t_{rp}) \quad (4)$$

Onde Q_{resf} é o calor de resfriamento do produto [kJ], m_p é a massa do produto [kg], c_1 é o calor específico [kJ/kg.K], t_{ip} é a temperatura inicial [°C] e t_{rp} é a temperatura final [°C].

Quando é necessário congelar o produto as etapas do processo de refrigeração aumentam. Portanto foi considerada a troca de calor latente e a troca de calor sensível, e a quantidade de calor envolvida no processo é dada por:

$$Q_{resf+cong} = m_p c_1 (t_{ip} - t_{cp}) \quad (5)$$

Na qual $Q_{resf+cong}$ é o calor retirado até o congelamento [kJ], m_p é a massa do produto [kg], c_1 é o calor específico [kJ/kg.K], t_{ip} é a temperatura inicial [°C] e t_{cp} é a temperatura de congelamento [°C].

A carga térmica de infiltração de ar é determinada por:

$$Q_{inf} = q D_t D_f (1 - E), \quad (6)$$

Onde: Q_{inf} é o calor de infiltração [kW], q é a carga de refrigeração em regime permanente [kW], D_t é fator de tempo de abertura de porta, D_f é o fator de fluxo de ar na porta e E é a efetividade do equipamento de proteção.

O calor transmitido por paredes, pisos e tetos é determinado por:

$$q_{tc} = UA(t_i - t_e) \quad (7)$$

Na qual q_{tc} é o ganho de calor [kW], U é o coeficiente global de transferência de calor [kW/m².K], A é a área superficial [m²], t_i é a temperatura interna [°C] e t_e é a temperatura externa [°C].

O calor dissipado pelas fontes internas de iluminação presentes na câmara fria é determinado pela equação:

$$Q_{ilum} = W_i A_{tp} D_{to} \quad (8)$$

Onde: Q_{ilum} é o calor de iluminação [W], W_i é a taxa de iluminação [W/m²], A_{tp} é a área do piso e D_{to} é o fator de tempo de utilização.

A energia dissipada pelas pessoas que estarão dentro da câmara é determinada por:

$$Q_{eq} = 272 - 6(t_i) \quad (9)$$

Na qual Q_{eq} é o calor dissipado por pessoa [W] e t_i é a temperatura interna [°C].

Já o calor dissipado pelos equipamentos elétricos instalados dentro da câmara é obtido através das tabelas consultadas em ASHRAE (2010).

Para a seleção do fluido refrigerante, a ABRVA (2016) recomenda avaliar as seguintes características: inflamabilidade, toxicidade, nível de agressão à camada de ozônio, contribuição para o aquecimento global, ambiente a ser refrigerado e desempenho.

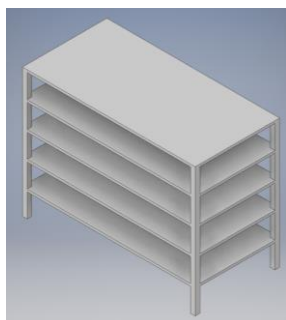
Resultados

Na Tabela 1 são apresentados os resultados do dimensionamento das prateleiras para o armazenamento de carnes e das coalhadas.

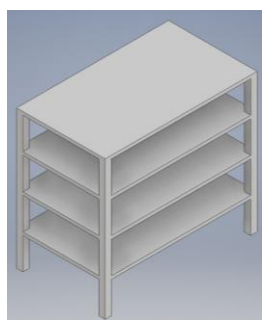
Tabela 1: Resultado do dimensionamento das prateleiras

Prateleira de carnes		Prateleira de coalhadas	
Comprimento [m]	3,48	Comprimento [m]	2,40
Largura [m]	1,60	Largura [m]	1,40
Distância entre chapas [m]	0,50	Distância entre chapas [m]	0,50
Quantidade de chapas	5	Quantidade de chapas	4

Na figura 1 podem ser observados os desenhos das prateleiras para o armazenamento dos produtos.



(a) Prateleira de carnes com 5 pranchas



(b) Prateleira de coalhadas com 4 pranchas

Figura 1: Prateleiras de armazenamento dos produtos

A Tabela 2 apresenta o sumário do resultado da avaliação estrutural das prateleiras para os materiais selecionados.

Tabela 2: Resultados da análise estrutural

Prateleira de carne			
Material	Cortante Máximo [kN]	Momento Máximo [kNm]	Espessura Mínima [cm]
Aço inox	41,4	38,1	2,48
Prateleira de coalhada			
Material	Cortante Máximo [kN]	Momento Máximo [kNm]	Espessura Mínima [cm]
Alumínio	7,24	4,34	2,73

Na Tabela 3 são apresentadas as dimensões finais de cada câmara.

Tabela 3: Dimensões das câmaras frigoríficas

Câmara de carnes		Câmara de coalhadas	
Comprimento [m]	10,90	Comprimento [m]	10,90
Largura [m]	5,40	Largura [m]	5,04

Altura do pé direito [m]	3,15	Altura do pé direito [m]	3,15
--------------------------	------	--------------------------	------

A figura 2 é a planta baixa de cada uma das câmaras frigoríficas.

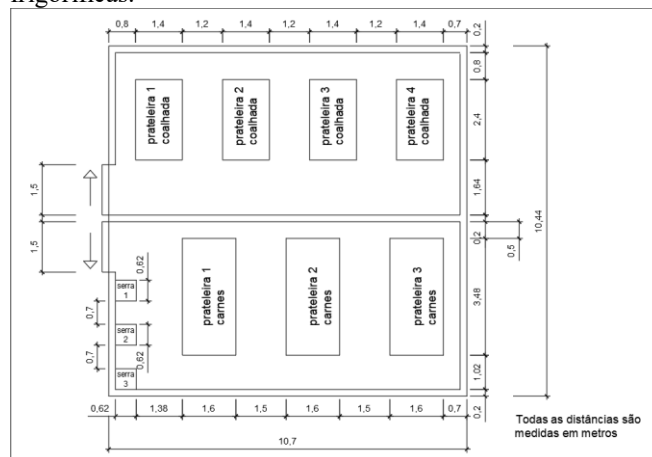


Figura 2: Planta baixa das câmaras

Os produtos serão armazenados a uma distância mínima das paredes de 50 cm, a distância entre prateleiras é de 1,5 m para a câmara de carnes e de 1,2 m para a câmara de coalhadas (Machado, 2000).

A câmara foi projetada para ser construída com painéis pré-moldados de aço galvanizado prensadas em um painel de poliuretano expandido, com espessura de 200 mm. As chapas de aço galvanizado são pintadas de branco e têm espessura de 10 mm cada.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados do cálculo de carga térmica para a câmara de carne.

Tabela 4: Carga térmica na câmara de carne

Carga térmica	Valor
Produto [kW]	297,50
Infiltração [kW]	0,71
Iluminação [kW]	8,24
Pessoas [kW]	3,16
Paredes, piso e teto [kW]	1,43
Equipamentos [kW]	2,33
Carga Térmica Total [kW]	313,50

Na Tabela 5 são apresentados os resultados do cálculo de carga térmica na câmara fria para resfriamento de coalhada.

Tabela 5: Carga térmica na câmara de coalhada

Carga térmica	Valor
Produto [kW]	26,83
Infiltração [kW]	0,30
Iluminação [kW]	8,24
Pessoas [kW]	1,94

Paredes, piso e teto [kW]	0,68
Carga Térmica Total [kW]	38,00

A partir desses resultados foi feita a seleção dos equipamentos para o projeto:

(a) Serra de corte: modelo SIEP-220 da ECCEL, potência de 3/4 CV.

(b) Fluido refrigerante: R-404a, irá proporcionar a utilização de compressores menores (Stoecker; Jabardo, 2018).

(c) Unidade evaporadora da câmara de carnes: cinco unidades da marca TRINEVA, modelo FTBSG 488, com degelo a gás quente, capacidade nominal de refrigeração de 72,04 kW, temperatura de evaporação entre -25 °C e -18 °C.

(d) Unidade evaporadora da câmara de coalhada: uma unidade da marca TRINEVA, modelo FTBSA 265, capacidade nominal de 48,90 kW, temperatura de evaporação entre -5 °C e 5 °C.

(e) Unidade condensadora da câmara de carnes: nove unidades da marca ELGIN, modelo BBT3600TH6, capacidade de refrigeração de aproximadamente 38,05 kW para uma temperatura de evaporação de -25 °C.

(f) Unidade condensadora da câmara de coalhada: uma unidade da marca ELGIN, modelo BBT1400DH6 DUAL TRIAL, capacidade 38,21 kW para uma temperatura de evaporação de -5 °C.

Conclusões

A câmara de carnes apresentou carga térmica 8,25 vezes maior que a da coalhada devido à quantidade elevada de produtos armazenados na temperatura de -18°C enquanto a coalhada fica entre 0°C e 5°C.

A demanda frigorífica em cada câmara causou uma grande diferença na seleção dos equipamentos de refrigeração: 5 evaporadoras e 9 unidades condensadoras para a carne e 1 evaporadora e 1 unidade condensadora para a coalhada.

O fluido selecionado, o R-404a, apresenta ótimo desempenho frigorífico, além de apresentar baixos índices de toxicidade, o que o faz ser seguro para o produto armazenado e para os funcionários presentes no ambiente.

Os painéis modulares selecionados para a câmara irão facilitar a montagem e manutenção dos ambientes, uma vez que já possuem a camada de isolante térmico.

A configuração das câmaras foi atribuída visando a melhor utilização do espaço, facilidade na locomoção dos funcionários e ainda respeitando as regras de disposição dos produtos armazenados.

A câmara projetada é de grande porte e pode ser facilmente implementada em grandes redes de supermercado com altas demandas de refrigeração.

O desenvolvimento do trabalho possibilitou aplicar conhecimentos de diversas áreas de projeto de engenharia, o que contribui com uma formação de qualidade para os estudantes.

Referências

ABRAVA – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. (2016).

RENABRAVA 5, Guia para Uso e Aplicação dos Fluidos Frigoríficos.

Adesokan, H. K., Funso-Adu, K., & Okunlade, O.A. (2020). Foodborne Pathogens on Meat Stored in Major Central Cold Rooms in Ibadan and their Susceptibility to Antimicrobial Agents. SCIENDO, Nigéria, 64, 1-10.

ASHRAE. (2010). Refrigeration Handbook. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

BRASIL. (1995). Portaria nº 711, de 1º de novembro de 1995. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Chagas, J. A. C. (2012). Projeto e construção de Câmaras Frigoríficas. York Refrigeration, Joinville, 1-14.

Correa, L. P. et al. (2018). Estudo físico-químico de coalhada de leite de búfala. Congresso Brasileiro de Química, São Luís.

Custódio, L. G. (2017). Influência do Congelamento, Temperatura e Tempo de Estocagem na Qualidade da Carne Bovina. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás.

Machado, R. L. P. (2000). Boas práticas de armazenagem na indústria de alimentos. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 28 (Embrapa Agroindústria de Alimentos. Documentos, 42).

Neto, W. A. S., & Ribeiro, V. P. (2020). Brazilian beef exports to the main destinations: a persistence to shocks analysis. SCAP, 43, 86-94.

Oliveira, S. K. (2019). Avaliação da taxa de congelamento e do tempo de armazenamento congelado na qualidade de contrafilés bovinos maturados após descongelamento. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras.

Stoecker, W. F., & Jabardo, S.M. (2018). Refrigeração Industrial. Edgard Blücher.

Vilain, R. (2018). Refrigeração e climatização: projeto de câmaras frias de pequeno porte. São José.

Yang, Min-Hsiung & Yeh, Rong-Hua. (2015). Theoretical Analysis of Optimal Subcooling for Single VaporCompression Refrigeration Systems. Heat Transfer Engineering, 36:10, 912-925.

Aviso de responsabilidade

Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído neste documento.