

DESENVOLVIMENTO DE UM CÓDIGO COMPUTACIONAL PARA ESTUDO PARAMETRIZADO DA CARGA TÉRMICA DE UMA CÂMARA FRIGORÍFICA

COMPUTATIONAL CODE DEVELOPMENT OF A PARAMETERIZED STUDY OF THE THERMAL LOAD OF A REFRIGERATING CHAMBER

José Luciano Batista Moreira¹
Adriano da Silva Marques²

RESUMO

As câmaras frigoríficas são equipamentos fundamentais para a conservação de alimentos perecíveis, garantindo a manutenção da qualidade dos produtos nas etapas do seu processamento e distribuição. O dimensionamento correto desse equipamento representa eficiência relacionada ao desempenho do resfriamento e congelamento, bem como a eficiência energética do sistema. Desta forma, este trabalho trata do desenvolvimento de um código computacional na plataforma EES (*Engineering Equation Solver*) para determinar o consumo energético da unidade evaporadora (carga térmica) de uma câmara frigorífica. A câmara foi dimensionada para ser instalada na cidade de Belém do Pará, responsável por armazenar 5 toneladas por dia de maçãs e 10 toneladas por dia de carne suína. O estudo ainda apresenta resultados parametrizados para espessura do isolante térmico e a temperatura de entrada dos produtos alimentícios, aplicados as equações da parcela de carga térmica por condução e da parcela de carga pelo produto. Os valores aplicados a variação paramétrica respeitam as condições estabelecidas pelas normas técnicas vigentes, relacionadas ao armazenamento refrigerado de alimentos. Foi verificado que a discrepância entre os regimes de máxima e mínima operação da câmara, representa uma redução de aproximadamente 20,19% do consumo energético da unidade evaporadora. Dessa forma, conclui-se que o estudo parametrizado pode resultar em diagnóstico de economia de energia para projetos de câmara frigorífica.

Palavras-chave: Refrigeração industrial; carga térmica; câmara frigorífica; estudo paramétrico.

ABSTRACT

Cold rooms are fundamental equipments for the preservation of perishable foods, guaranteeing the maintenance of the quality of the products in the stages of their processing and distribution. The correct dimensioning of this equipment represents efficiency related to the cooling and freezing performance, as well as the energy efficiency of the system. Thus, this project deals with the development of a computational code on the EES platform (*Engineering Equation Solver*) to determine the energy consumption of the evaporator unit (thermal load) of a cold room. The cold storage was designed to be installed in the city of Belém do Pará, responsible for storing 5 tons per day of apples and 10 tons per day of pork. The study also presents

¹ Bacharelado em Engenharia Mecânica - Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho. 2021

² Doutor em Engenharia Mecânica – Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho

parameterized results for the thickness of the thermal insulation and the inlet temperature of the products, applying the equations of the thermal load by conduction and the load by the product. The values applied to the parametric variation respect the conditions established by the current technical standards, related to the refrigerated storage of food. It was verified that the discrepancy between the maximum and minimum operation regimes of the cold room, represents a reduction of approximately 20,19% of the energy consumption of the evaporator unit. Thus, it can be concluded that the parameterized study can result in a diagnosis of energy savings for cold storage projects.

Keywords: Industrial refrigeration; thermal load; refrigerating chamber; parametric study.

INTRODUÇÃO

Sistemas de refrigeração estão presentes nos mais diversos setores da indústria. De acordo com Stoecker (2018) a refrigeração industrial tem o intuito de retirar calor de um ambiente, mantendo-o a temperatura entre 15°C e -70°C, podendo ser aplicada nas indústrias químicas, de alimentos e de processos.

No contexto da indústria de alimentos, a temperatura de armazenamento é um dos principais fatores que interferem na manutenção da qualidade desses produtos, garantindo seu uso de forma lucrativa e segura, conforme apresentado em Vasconcelos (2016). Para a refrigeração de alimentos é utilizada uma câmara frigorífica, que assegura a eficiência e qualidade dos processos de armazenagem de produtos em frigoríficos e supermercados (FERREIRA, 2019). Diante do exposto, as câmaras frigoríficas surgem como um equipamento importante para a indústria de armazenamento e processamento de alimentos.

As câmaras frigoríficas são máquinas térmicas que, na maioria dos casos, operam segundo o ciclo de refrigeração por compressão de vapor, onde o fluido de trabalho remove calor de um determinado meio a partir da mudança de fase (BARBOSA, 2020). Segundo Vicari (2017), as câmaras frigoríficas consomem em média 20% da energia elétrica fornecida ao sistema de refrigeração de um supermercado, apresentando valor inferior

somente aos expositores de alimentos do tipo *racks*.

Considerando a quantidade de energia requerida para o funcionamento de uma câmara frigorífica, é importante realizar um estudo criterioso aplicado ao seu dimensionamento, a fim de utilizar a energia requerida para sua operação da maneira mais eficiente possível. Medidas que garantam a eficiência energética tornaram-se prioritárias para qualquer nação que esteja disposta a desenvolver sua economia (CAMIOTO, 2016).

Nesse sentido, este trabalho trata do desenvolvimento de um código computacional na plataforma EES (*Engineering Equation Solver*) para o cálculo da carga térmica requerida pela unidade evaporadora de uma câmara frigorífica. Além disso, apresenta o estudo parametrizado de variáveis importantes no desenvolvimento do projeto em busca de apontar os pontos de operação mais eficientes. O trabalho foi desenvolvido em conjunto com outro, que contempla a seleção dos equipamentos e do fluido refrigerante utilizados nas câmaras frigoríficas analisadas.

METODOLOGIA

Premissas do projeto

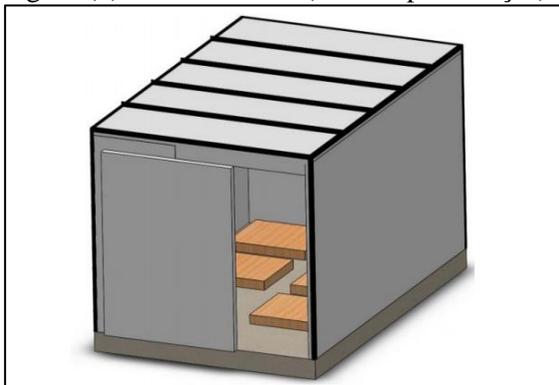
O objeto de estudo deste trabalho é o projeto de uma câmara frigorífica que deve ser instalada na cidade de Belém do Pará. O local foi escolhido de forma aleatória, podendo ser qualquer local que tenha demanda semelhante do fluxo de massa

estocado nas câmaras. Segundo INPE (2020) as condições térmicas do ambiente externo coletadas em novembro (mês com maior temperatura externa) são: temperatura externa (T_e) = 32,4°C e umidade relativa do ambiente externo (Rh) = 70%. Serão armazenados maçãs e carne suína, o fluxo de massa diário é de 10 toneladas para a câmara de carne e 5 toneladas para o ambiente refrigerado da fruta. A maçã deve ser mantida no ambiente controlado à temperatura de (T_f, m) = 0°C e umidade relativa (Rh, m) = 92%, enquanto a carne suína deve ser refrigerada à temperatura (T_f, c) = -5°C e umidade relativa (Rh, c) = 87%. As propriedades térmicas dos produtos foram selecionadas de acordo com as práticas indicadas por (ABCS, 2014) para o armazenamento da carne suína e (VIEIRA, 2019) para o armazenamento das maçãs.

Dimensões das câmaras

A partir das informações relacionadas ao fluxo diário de massa, com base na densidade de estocagem de cada alimento (relação entre a massa e espaço para armazenamento), indicado por (ASHRAE, 2010), foi utilizado o modelo de câmara frigorífica apresentado na figura (1), para o armazenamento das maçãs.

Figura (1) – Desenho 3D (câmara para maçãs)

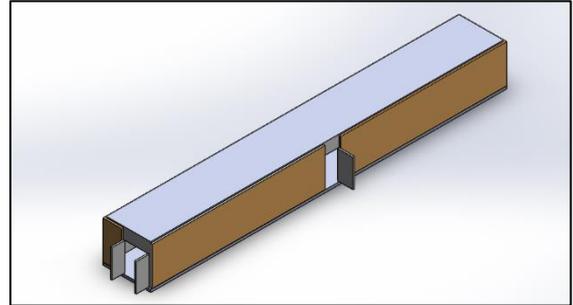


Fonte: Autor

A câmara para maçã tem 3,2 metros de largura, 5 metros de comprimento e 3 metros de altura.

A figura (2) apresenta o desenho da câmara destinada ao armazenamento de carne suína, suas dimensões foram obtidas de maneira análoga a câmara para maçãs.

Figura (2) – Desenho 3D (câmara para carne suína)



Fonte: Autor

A câmara para carne suína tem 3,2 metros de largura, 27,06 metros de comprimento e 3 metros de altura, as paredes laterais tem alvenaria com o intuito de aumentar a resistência mecânica das paredes, a fim de suportar a carne armazenada. A câmara da carne suína apresenta o comprimento cerca de 8 vezes maior que a largura, esse formato é utilizado em virtude da carga e descarga da mercadoria acontecer em um centro logístico de distribuição de alimentos, onde a dinâmica de estocagem segue esse formato, semelhante a uma estrutura do tipo porta-paletes.

Cálculo da carga térmica

O cálculo de carga térmica é necessário para se determinar a potência de refrigeração requerida por cada uma das câmaras. Os valores foram determinados com base na metodologia apresentada em (ASHRAE, 2010), que simplificada é representada pelas equações (1) a (7) a seguir.

A carga térmica por condução de calor através das paredes e teto é determinada por:

$$Q_c = U.(T_e - T_i).A \quad (1)$$

Sendo, Q_c a taxa de transferência de calor por condução, U o coeficiente global de

transferência de calor, T_e e T_i as temperaturas externa e interna, respectivamente, e A a área superficial. A equação (1) surge como simplificação da equação (2), equação geral da condução de calor:

$$(\partial^2 T/\partial x^2) + (\partial^2 T/\partial y^2) + (\partial^2 T/\partial z^2) + \dot{e}/k = (1/\alpha) \cdot (\partial T/\partial t) \quad (2)$$

Na qual $\partial^2 T/\partial x^2$, $\partial^2 T/\partial y^2$ e $\partial^2 T/\partial z^2$ são as taxas de condução do calor nas direções x , y e z , respectivamente, \dot{e} é a taxa de geração de calor interna do elemento analisado, α é a difusividade térmica do material e $\partial T/\partial t$ é taxa de variação da temperatura em função do tempo.

Segundo Çengel (2012), para utilizar a equação (2), da forma apresentada na equação (1), deve-se considerar que: a câmara frigorífica opera em regime permanente, o valor da condutividade térmica do isolante é constante, não existe geração de calor e a transferência de calor do ambiente interno para o externo, através das paredes e teto ocorre de forma uniforme e unidimensional (espessura da parede é muito menor que o seu comprimento e altura). Os valores de condutividade térmica utilizados neste trabalho foram obtidos de (ANANDA, 2020), distribuidora nacional de isolantes térmicos.

A carga térmica do produto, energia requerida para diminuir a temperatura do produto armazenado até a condição de regime permanente, é determinada pela equação (3), para o calor sem mudança de fase (calor sensível) e equação (4) para o calor com mudança de fase (calor latente), equação utilizada somente na câmara para carne suína:

$$Q_p = C_e \cdot M \cdot (T_e - T_i) / Tr \quad (3)$$

$$Q_{ph} = (M \cdot hc) / Tr \quad (4)$$

Sendo, Q_p e Q_{ph} a taxa de transferência de calor sensível e latente, respectivamente, C_e o calor específico do produto, M a massa do

produto, hc o calor latente de solidificação e Tr o tempo de resfriamento. Para a aplicação das equações (3) e (4) é considerada a hipótese simplificadora de que os produtos armazenados, possuem coeficiente de calor específico constante, segundo Çengel (2012).

As equações de (5) a (7) são equações empíricas, que definem parcelas da carga térmica requerida por uma câmara frigorífica.

A carga térmica por infiltração de ar externo é determinada pela equação:

$$Q_{if} = Q \cdot Dt \cdot Df \cdot (1 - E) \quad (5)$$

Sendo, Q_{if} a carga térmica por infiltração de ar externo, Q a carga térmica sensível e latente para o fluxo estabelecido, Dt o fator de tempo de abertura das portas, Df o fator de fluxo da porta e E a efetividade do sistema de proteção da porta.

A carga térmica relacionado ao calor dissipado pelos ocupantes da câmara é definida por:

$$Q_o = N_p \cdot Q_{eq} \cdot Dto \quad (6)$$

Na qual, Q_o é a carga térmica por ocupação, N_p é o número de ocupantes, Q_{eq} é o calor dissipado por cada ocupante e Dto é a taxa de ocupação.

A carga térmica que representa o calor liberado pela iluminação é definida por:

$$Q_i = W_i \cdot A_{pi} \cdot Dto \quad (7)$$

Sendo Q_i a carga térmica por iluminação, W_i a taxa de iluminação e A_{pi} a área do piso.

Parâmetros das equações

As propriedades térmicas dos produtos foram selecionadas de acordo com as práticas indicadas por (ABCS, 2014) para o armazenamento da carne suína e (VIEIRA, 2019) aplicado ao armazenamento das maçãs. Os parâmetros relacionados as condições de operação de câmaras

refrigeríficas estão disponíveis em (ASHRAE, 2010).

A tabela (1) apresenta os parâmetros comuns as equações de carga térmica das duas câmaras analisadas.

Tabela (1) – Parâmetros utilizados nas equações da carga térmica, ambas as câmaras.

Parâmetro	Valor	Fonte
U (teto) [W/(m ² .°C)]	0,166	(ANANDA, 2020)
U (piso) [W/(m ² .°C)]	0,184	(ANANDA, 2020)
T_e [°C]	32,4	(INPE, (2020))
k (PUR) [W/(m.°C)]	0,021	(ANANDA, 2020)
k (EPS) [W/(m.°C)]	0,033	(ANANDA, 2020)
D_f adimensional	0,8	(ASHRAE, 2010)
E adimensional	0,9	(ASHRAE, 2010)
Q_{eq} [W/pessoa]	272	(ASHRAE, 2010)
W_i [W/ m ²]	10	(ASHRAE, 2010)

Fonte: Adaptado de (ANANDA, 2020); (INPE, (2020)); (ASHRAE, 2010).

A tabela (2) indica os parâmetros utilizados nas equações da carga térmica, aplicada a câmara das maçãs.

Tabela (2) – Parâmetros utilizados nas equações da carga térmica, câmara das maçãs.

Parâmetro	Valor	Fonte
U (paredes) [W/(m ² .°C)]	0,166	(ANANDA, 2020)
T_f, m [°C]	0	(VIEIRA, 2019)
A (paredes e teto) [m ²]	65,2	Produzido pelo autor
A (piso) [m ²]	16	Produzido pelo autor
C_e, m (acima do ponto de congelamento) (kJ/kg.°C)	3,87	(ASHRAE, 2010)
M [kg]	5000	Produzido pelo autor

T_e, m (temperatura de entrada das maçãs) [°C]	10	(VIEIRA, 2019)
T_r [h]	8	(VIEIRA, 2019)
Q [kW]	42,550	(ASHRAE, 2010)
D_t , adimensional	0,00196	(ASHRAE, 2010)
N_p , adimensional	2	Produzido pelo autor
D_{to} , adimensional	0,125	(ASHRAE, 2010)

Fonte: Adaptado de (ANANDA, 2020); (VIEIRA, 2019); (ASHRAE, 2010).

A tabela (3) apresenta os parâmetros utilizados nas equações da carga térmica, aplicados ao armazenamento refrigerado da carne suína.

Tabela (3) – Parâmetros utilizados nas equações da carga térmica, câmara da carne suína.

Parâmetro	Valor	Fonte
U (alvenaria e isolante) [W/(m ² .°C)]	0,156	(ANANDA, 2020)
T_f, c [°C]	-5	(ASHRAE, 2010)
A (paredes) [m ²]	262,190	Produzido pelo autor
A (teto) [m ²]	86,700	Produzido pelo autor
A (piso) [m ²]	86,700	Produzido pelo autor
C_e, a (acima do ponto de congelamento) [kJ/(kg.°C)]	3,08	(ASHRAE, 2010)
C_e, b (abaixo do ponto de congelamento) [kJ/(kg.°C)]	3,1	(ASHRAE, 2010)
h_c [kJ/kg]	166	(ASHRAE, 2010)
M [kg]	10000	(ASHRAE, 2010)
T_e, c (temperatura	5	(ABCS, 2014)

de entrada da carne suína) [°C]		
Tr [h]	10	(ABCS, 2014)
Q [kW]	41,440	(ASHRAE, 2010)
Dt , adimensional	0,0022	(ASHRAE, 2010)
Np , adimensional	4	Produzido pelo autor
Dto , adimensional	0,167	(ASHRAE, 2010)

Fonte: Adaptado de (ANANDA, 2020); (ASHRAE, 2010); (ABCS, 2014).

Processamento dos dados

A partir das equações descritas e os respectivos parâmetros apresentados nas tabelas anteriores, foi desenvolvido o código computacional na plataforma EES, o que possibilita fazer uma análise global e parcial da demanda de energia requerida pela unidade evaporada (carga térmica), avaliando quais parcelas possuem valores maiores e conseqüente representam maior consumo energético pela unidade compressora de cada câmara. Além disso, o código permite a avaliação parametrizada de variáveis específicas que podem ser indicadas pelo próprio projetista ou pelo contratante de um projeto deste tipo.

Crítérios do estudo parametrizado

O estudo parametrizado aplicado a carga térmica por condução consiste na variação da espessura do isolante térmico no intervalo de 0,05m à 0,15m, que representa a faixa de valores indicados por ABCS (2014), para o armazenamento de alimentos em câmaras frigoríficas que operam em regime permanente, próximo a 0°C. Foram avaliados os dois tipos de isolantes frequentemente utilizados na construção de câmaras frigoríficas: a espuma rígida de poliuretano (PUR) e o poliestireno expandido (EPS), conforme indica (ABCS, 2014).

O parâmetro avaliado no estudo da equação que descreve a carga térmica pelo produto foi a temperatura de entrada dos produtos na câmara. Esses produtos, segundo ASHRAE (2010) sofrem pré-resfriamento antes do armazenamento na câmara, um procedimento que interfere diretamente no valor da carga térmica analisada.

O intervalo de valor aplicado a temperatura de entrada da carne suína foi de 2,5 °C a 7,5°C, conforme indica (ABCS, 2014). Para o armazenamento de maçãs aplica-se o pré-resfriamento, mantendo a temperatura das maçãs entre 5°C e 15°C, conforme Vieira (2019). Utilizando os intervalos anteriormente listados, foi possível observar diferentes regimes de operação da câmara, sem comprometer a qualidade dos alimentos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas tabelas (4) e (5) estão os resultados do cálculo de carga térmica da câmara das maçãs e carne suína, respectivamente. A apresentação dividi os valores parciais de carga térmica de cada uma das câmaras. Em primeira análise, para validação do modelo, foi selecionado o isolante térmico de espuma rígida de poliuretano (PUR) com espessura de 0,1 m.

Tabela (4) – Resultados da carga térmica da câmara para maçãs.

Carga térmica	Energia [kW]
Condução	0,387
Produto	6,719
Infiltração de ar	0,0067
Ocupação	0,068
Iluminação	0,020
Total	7,2

Fonte: Autor

Tabela (5) – Resultados da carga térmica da câmara para carne suína.

Carga térmica	Energia [kW]
Condução	2,195
Produto	55,09
Infiltração de ar	0,015
Ocupação	0,201

Iluminação	0,144
Total	57,645

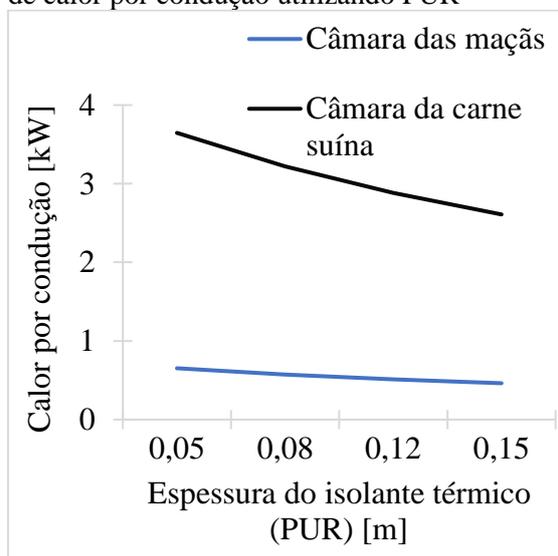
Fonte: Autor

Verifica-se que a maior parcela de carga térmica está relacionada ao resfriamento do produto, para ambas as câmaras, equivalente a 93,32% do valor total da carga térmica na câmara das maçãs, e 95,56% da câmara de carne. O segundo maior valor observado foi o da carga térmica por condução, representando 5,38% e 3,81% do valor total da carga térmica da câmara das maçãs e carne suína, respectivamente.

Análise da espessura do isolamento térmico (PUR)

A figura (3) representa o resultado da variação da taxa de transferência de calor por condução, das paredes laterais e do teto da câmara, em função da espessura do isolamento térmico (PUR). O intervalo de espessura analisado foi de 0,05m a 0,15m.

Figura (3) – Variação da taxa de transferência de calor por condução utilizando PUR



Fonte: Autor

Na figura (3) observa-se a redução da transferência de calor por condução, à medida que a espessura do isolante térmico aumenta. Essa redução equivale aproximadamente a 57,8% (0,377kW) e 56,9% (2,07kW) da transferência de calor

por condução na câmara das maçãs e carne suína, respectivamente.

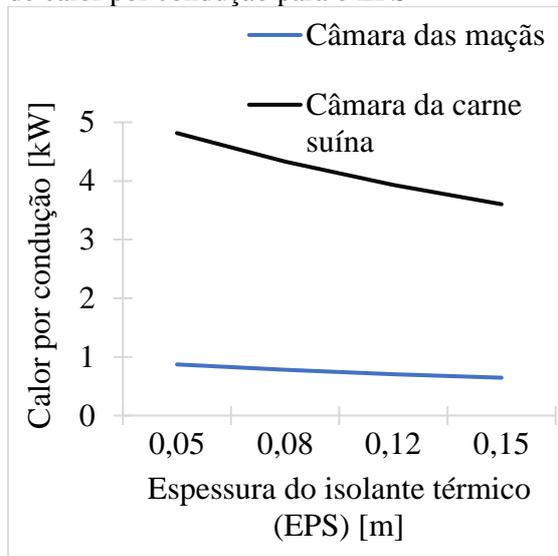
O valor de redução da energia na câmara para carne suína é aproximadamente 5,5 vezes maior que o da câmara das maçãs, esse comportamento é justificado por conta da área em contato com o ambiente externo ser aproximadamente 4,4 vezes maior na câmara da carne suína, além disso a câmara da carne é mantida a temperatura de regime permanente 5°C menor que a câmara para a fruta.

A variação das curvas do gráfico é visivelmente decrescente no início, tendendo a permanecer constante para valores altos de espessura do isolante, isso ocorre por conta da condição de espessura crítica do isolamento, onde o aumento excessivo da espessura não é revertido em aumento significativo da resistência térmica de condução do calor, conforme indica Çengel (2012). Um comportamento semelhante ao que foi observado está apresentado no trabalho de (PASSOS, 2018), que variou a espessura do isolante térmico e avaliou a transferência de calor por condução, no revestimento de paredes pré-moldadas.

Análise da espessura do isolamento térmico (EPS)

De maneira análoga a análise anterior, foi verificado o comportamento da variação da espessura do isolante, neste caso utilizando o (EPS), representado na figura (4).

Figura (4) – Variação da taxa de transferência de calor por condução para o EPS



Fonte: Autor

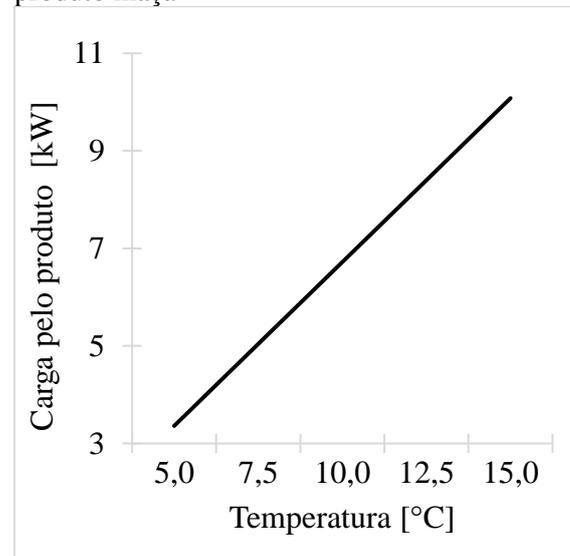
Conclui-se, a partir da análise da figura (4), que o comportamento da variação da espessura do EPS segue dinâmica semelhante ao discutido para o PUR. A carga térmica por condução da câmara da maçã reduz aproximadamente em 53,87% (0,469kW) e para câmara da carne reduz em 52,72% (2,539kW), com o aumento da espessura do isolante térmico.

Fazendo a análise comparativa dos dois materiais, verifica-se que para o valor médio de espessura (0,1m), o EPS conduz algo em torno de 1,4 vezes mais calor que o PUR, tornando-se um isolante térmico menos eficiente. Entretanto, a seleção deste material em um determinado projeto pode ser justificada pelo menor custo de aquisição, resultando em uma economia na fabricação da câmara.

Análise da temperatura de entrada das maçãs

A figura (5) representa o comportamento da variação da carga térmica pelo produto, em função da temperatura inicial das maçãs, ou seja, a temperatura que a maçã entra na câmara frigorífica.

Figura (5) – Variação da carga térmica pelo produto maçã



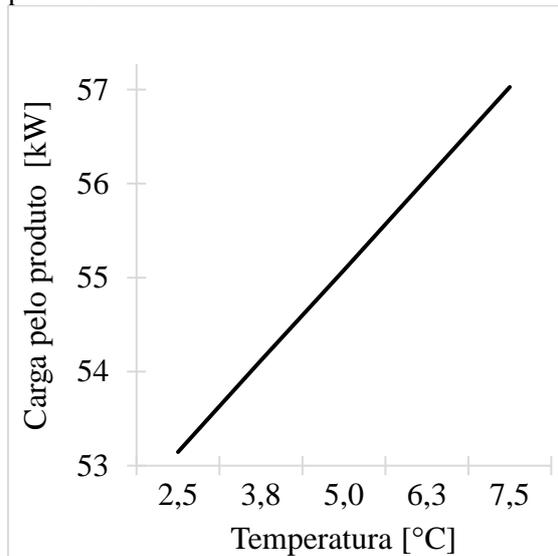
Fonte: Autor

A partir da figura (5), verifica-se que a carga térmica pelo produto pode reduzir em aproximadamente 66,67% (6,71kW), levando em consideração uma redução de 10°C na temperatura de entrada do produto na câmara. Essa redução, além de diminuir demanda da unidade evaporadora da câmara, contribui para a manutenção da qualidade do alimento armazenado segundo Vieira (2019).

Análise da temperatura de entrada da carne suína

A figura (6) representa a variação da carga térmica pelo produto, em função da temperatura de entrada da carne suína na câmara frigorífica.

Figura (6) – Variação da carga térmica pelo produto carne suína



Fonte: Autor

Pode ser observado na figura (6) que a partir da variação de temperatura de entrada da carne na câmara, a parcela de carga térmica devida ao produto pode ser reduzida em 5,71% (4,27 kW) para uma redução de 5°C na temperatura do alimento na entrada.

Perspectiva global do valor de carga térmica das câmaras

A partir do somatório das parcelas de carga térmica com valores fixos (infiltração, ocupação e iluminação) e as que foram determinadas pela variação paramétrica (carga térmica por condução e pelo produto), foi possível apresentar resultados globais para o estudo de energia consumida pelas câmaras. Foram considerados 3 pontos específicos de operação: mínimo consumo, médio e máximo, conforme tabela (6).

Tabela (6) – Principais valores dos regimes de operação das câmaras

Valor total da carga térmica	Energia [kW]
Mínimo	58,62
Médio	64,84
Máximo	73,45

Fonte: Autor

O regime de operação mínimo considerou o melhor isolante térmico (PUR) com espessura de 0,15m e as menores temperaturas permitidas na entrada dos produtos, 5°C para a maçã e 2,5°C para a carne suína, esse regime representa uma economia na demanda energética da unidade evaporadora de aproximadamente 20,19% (14,83kW), em relação ao valor de máximo consumo, utilizando (EPS) com 0,05m de espessura e temperatura de entrada de 15°C para a maçã e 7,5°C para a carne suína. Essa diferença aponta a importância deste tipo de estudo para câmaras frigoríficas, pois pode-se reduzir custos operacionais e minimizar os danos causados ao meio ambiente decorrente do desperdício energético.

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

O trabalho apresenta como produto final um código computacional capaz de determinar a carga térmica para projetos de câmaras frigoríficas de alimentos. O modelo foi validado para um caso específico de propriedades termodinâmicas e psicrométricas da cidade de Belém do Pará. Com o código foi possível realizar um estudo parametrizado da parcela de carga devida à condução e ao produto, em função da variação da espessura do isolante térmico e da temperatura inicial de armazenamento dos alimentos na câmara frigorífica.

Da avaliação global, conclui-se que a maior diferença nos regimes de operação da câmara, considerando os valores de carga térmica máximo e mínimo, resulta na redução de 20,19% do consumo de energia da unidade evaporadora. Assim, pode proporcionar menores custos operacionais, sem prejudicar a qualidade do armazenamento dos alimentos.

Foi verificado que, tanto o aumento da espessura do isolante térmico, quanto a redução da temperatura de entrada dos produtos que serão armazenados no espaço refrigerado, contribuem para a redução no valor da carga térmica requerida pela câmara.

Diante do exposto, destaca-se a importância de um estudo termodinâmico e de transferência de calor, avaliando diferentes regimes de operação de uma câmara frigorífica, a fim de encontrar as condições que atendam as premissas do projeto e resultem no uso eficiente da energia elétrica, fornecida a unidade compressora da câmara.

Este trabalho trouxe a oportunidade de aplicar, em um problema real, conhecimentos adquiridos ao longo da graduação em engenharia mecânica: termodinâmica, mecânica dos fluidos, transferência de calor, refrigeração, linguagem de programação, engenharia de projetos e tantos outros vividos até então.

Sugere-se para trabalhos futuros: (a) avaliação energética para diferentes fluidos refrigerantes; (b) implementação de avaliação de sensibilidade econômica ao código computacional desenvolvido; (c) comparação dos resultados desse sistema de compressão de vapor à um sistema de absorção de vapor; (d) o desenvolvimento da avaliação exergoeconômica da unidade proposta.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela força e disposição para alcançar meus objetivos e por sempre iluminar meu caminho.

À minha família por todo o apoio durante o período da graduação.

Aos meus amigos de Pernambuco, pessoas que tive a satisfação de compartilhar momentos incríveis ao longo dessa caminhada.

Ao meu professor orientador Dr. Adriano da Silva Marques pelo suporte de sempre.

A todos da UFRPE que contribuíram de maneira valiosa para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DE SUÍNOS. **Manual de industrialização dos suínos**. Brasília-DF:

ABCS, 2014. Disponível em: https://abcs.org.br/wp-content/uploads/2020/06/manual-industria_bloq.pdf. Acesso em: 05 nov de 2020.

Ananda. **Catálogo painéis isotérmicos**. São Paulo, 2020. Disponível em: https://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/ananda/cat_isolamento_termico.pdf. Acesso em: 05 nov de 2020.

AMERICAN SOCEITY OF HEATING, REFRIGERATING, AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **2010 ASHRAE Handbook**. Atlanta: ASHRAE, 2019. Disponível em: <https://iifiir.org/en/fridoc/2010-ashrae-handbook-refrigeration-si-edition-4010>. Acesso em: 05 nov de 2020.

BARBOSA, Júnior; FORMIGA, Cleiton Rubens. **Análise da influência da condensação na eficiência energética de uma câmara frigorífica funcionando com R22**. TCC (Graduação em engenharia mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/42933>. Acesso em: 05 nov de 2020.

CAMIOTO, Flávia de Castro; REBELATTO, Daisy Aparecida do Nascimento; ROCHA, Roberta Teixeira. **Análise da eficiência energética nos países do BRICS: um estudo envolvendo a Análise por Envoltória de Dados**. Gestão & Produção, v. 23, n. 1, p. 192-203, 2016. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/003006548>. Acesso em: 05 nov de 2020.

ÇENGEL, Yunus A. **Transferência de calor e massa**. Uma abordagem prática. New York: AMGH, 2020.

FERREIRA, José; NOGUEIRA, Gustavo Rodrigues Guerra; SANTOS, Felipe.

Sistema de Sensoriamento Remoto da câmara fria do IFPI. **Anais da VII escola regional de computação aplicada à saúde**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2019. p. 330-335. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/ercas/article/view/9081>. Acesso em: 05 nov de 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Portal do governo brasileiro** Belém-Pa: INPE, 2020. Disponível em: <https://tempo.cptec.inpe.br/pa/belem>. Acesso em: 14 de set. de 2020.

PASSOS, P. M.; CARASEK, H. Argamassas com resíduos para revestimento isolante térmico de parede pré-moldada de concreto. **Cerâmica**, v. 64, n. 372, p. 577-588, 2018. Disponível em: https://oasisbr.ibict.br/vufind/Record/USP-29_01ac14d45646d2a4caf12ffc67279c0f. Acesso em: 05 nov de 2020.

STOECKER, W. **Refrigeração industrial**. Fundamentos da termodinâmica aplicada a refrigeração. São Paulo: Blucher, 2018.

VASCONCELOS, Margarida Angélica da Silva; MELO, Artur Bibiano de. **Conservação de alimentos**. Princípios e métodos da conservação de alimentos. Recife: E-Tec-Brasil, 2016. Disponível em: <http://proedu.rnp.br/handle/123456789/316>. Acesso em: 14 de set. de 2020.

VICARI JÚNIOR, Heitor Machado. **Eficiência energética aplicada em sistemas de refrigeração comercial de um supermercado localizado em Porto Alegre-RS**. Monografia (Especialização em eficiência energética) - Universidade Federal de Santa Maria. Santana do Livramento, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/12210>. Acesso em: 05 nov de 2020.

VIEIRA, E. L. **Apontamentos e práticas de fisiologia pós-colheita de frutos e hortaliças**. Centro de Ciências Agrárias,

Ambientais e Biológicas–CCAAB. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia–UFRB, 2019. Disponível em: <https://fdocuments.net/download/apontamentos-e-praticas-de-fisiologia-ps-colheita-de-.html>. Acesso em: 05 nov de 2020.