

Thermal load calculation of an industrialized açáí freezing tunnel with a capacity of 20 tons

Cálculo de carga térmica de um túnel de congelamento de açáí industrializado com capacidade de 20 toneladas

Article Info:

Article history: Received 2022-01-09 / Accepted 2022-03-20 / Available online 2022-04-27

doi: 10.18540/jcecv18iss4pp14190-01e

Marcos Duran Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8109-5053>

Universidade Federal do Paraná, Brazil

E-mail: marcos.duran@ufpr.br

Antônio Marcos de Oliveira Siqueira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7088-3211>

Federal University of Viçosa, Brazil

E-mail: antonio.siqueira@ufv.br

Resumo

O açáí é um fruto nativo da região amazônica que é importante como fonte de alimento e para a cultura local e que se popularizou nacionalmente nas mais recentes décadas, já atingindo mercados internacionais. É utilizado o processo de congelamento para postergar a deterioração dos alimentos em geral, conservando às suas propriedades nutritivas. É relevante se compreender o cálculo de carga térmica para ser possível dimensionar adequadamente os equipamentos frigoríficos necessários para o ciclo de refrigeração industrial. Os objetivos do trabalho foram os de calcular a carga térmica de um túnel de congelamento de açáí industrializado com capacidade de 20 toneladas em 18 h de processo e verificar o fator de maior influência neste respectivo cálculo. Trata-se de uma pesquisa de campo realizada em uma indústria de congelamento de açáí na cidade de Castanhal/PA e se refere à uma pesquisa bibliográfica exploratória baseada em livros e trabalhos científicos da categoria de refrigeração industrial. Calculou-se a carga térmica total do túnel de congelamento de açáí e se chegou no valor de 168.347,0226 kcal/h e verificou-se que o fator de maior influência no cálculo de carga térmica é o fator pelo produto com cerca de 81% da carga térmica total.

Palavras-chave: Açáí. Carga Térmica. Refrigeração Industrial. Túnel de Congelamento.

Abstract

Açáí is a fruit native to the Amazon region that is important as a source of food and for a local culture and that has become popular nationally in the most recent decades, already reaching international markets. The freezing process is used to delay the deterioration of food, preserving its nutritional properties. This is relevant to understand the thermal load calculation in order to be able to dimension the refrigeration equipment used for the industrial refrigeration cycle. The objectives of the article were to calculate the thermal load of an industrialized açáí freezing tunnel with a capacity of 20 tons in 18 hours of process and to verify the factor of greatest influence in this calculation. This is field research carried out in an açáí freezing industry in the city of Castanhal / PA and also refers to an exploratory bibliographic research based on books and scientific articles in the industrial refrigeration category. The total thermal load of the açáí freezing tunnel was calculated and reached the value of 168,347.0226 kcal/h and it was found that the factor of greatest influence in the calculation of thermal load is the factor for the product with about 81% of the total thermal load

Keywords: Açáí. Thermal Load. Industrial Refrigeration. Freezing Tunnel.

1. Introdução

Conforme Çengel e Ghajar (2012), os sistemas de refrigeração, através do controle de temperatura pelo resfriamento e pelo congelamento, têm a função de prevenir a deterioração dos alimentos, evitando-se assim o crescimento de microrganismos, em especial as bactérias, conseqüentemente, consegue-se conservar por mais tempo as propriedades nutritivas dos alimentos, desacelerando a degradação e a perda da qualidade dos mesmos. O açaí, como um alimento de alto valor energético que é, se popularizou no mercado nacional e também alcança mercados internacionais, principalmente países como os Estados Unidos, Alemanha, Bélgica e Holanda.

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) (2020), o Pará, que é produtor de cerca de 90% do açaí nacional, produziu cerca de 1.439.249 toneladas do fruto em 2018, sendo que toda a produção de polpa passa pelo processo de congelamento.

Os locais tradicionais onde o congelamento da polpa de açaí ocorre chamam-se túneis de congelamento estáticos. Para o correto dimensionamento e seleção dos equipamentos frigoríficos que compõem um ciclo de refrigeração industrial para um túnel de congelamento estático como os compressores, condensadores evaporativos, vasos de pressão (reservatórios de líquido e separadores de líquido), dispositivos de expansão, além dos periféricos (tubulações, registros e aparelhos de controle, carga de fluido refrigerante, interligação elétrica), é fundamental o conhecimento do cálculo de carga térmica. Baseado em Silva (2013) e Pereira e Oliveira (2020), carga térmica é o regime pelo qual o calor deve ser removido do ar e / ou do produto por unidade de tempo com o intuito de se manter as condições de temperatura desejadas.

Os objetivos deste trabalho são o de calcular a carga térmica de um túnel de congelamento de polpa de açaí com capacidade de 20 toneladas e de verificar o fator de maior influência neste cálculo.

2. Metodologia

Trata-se de uma pesquisa de campo em um túnel de congelamento de polpa de açaí de uma indústria localizada na cidade de Castanhal/PA. A pesquisa foi realizada no segundo semestre de 2019, onde se visitou a indústria para coletar informações para o respectivo cálculo de carga térmica do túnel de congelamento em estudo como: dimensões do túnel de congelamento, capacidade de congelamento, tempo de congelamento, o fluido refrigerante do sistema de refrigeração industrial, espessura e tipo de isolamento, temperaturas de entrada e saída da polpa de açaí, temperaturas do ar externo, potência de iluminação, quantidade dos evaporadores existentes dentro do ambiente e registros fotográficos.

O trabalho também se baseou em alguns livros e trabalhos científicos da categoria de refrigeração industrial, tendo foco no congelamento de polpa de açaí sendo, portanto, uma pesquisa bibliográfica exploratória.

3. Resultados e Discussão

Túnel de congelamento estático é o ambiente onde ocorre justamente o processo de congelamento e se caracteriza por pequenas larguras, grandes comprimentos e processo com fluxo de ar intenso (Dalavechia, 2017). Há, na parte interna deste túnel de congelamento em estudo, dois evaporadores de convecção forçada com três motoventiladores cada um, conforme Figura 1 a seguir, que são equipamentos que possuem a finalidade de remover o calor do açaí industrializado e do ar ambiente.

Figura 1 - Evaporadores de convecção forçada do túnel de congelamento.



Os outros equipamentos do circuito frigorífico do túnel de congelamento ficam dispostos remotamente conectados por tubulações, como compressores, condensadores evaporativos, reservatórios de líquido, separadores de líquido, dispositivos de expansão e bombas de amônia (Bonifácio, 2021).

Após passar pelos processos de processamento e embalagem, o açaí industrializado entra no túnel de congelamento à uma temperatura de $+35^{\circ}\text{C}$ e a sua temperatura de saída fica próxima de -26°C . O açaí já embalado fica disposto em caixas plásticas, chamadas pelos produtores locais de “basquetas” e postas conforme Figura 2 (Bezerra, 2007; Stefanini, 2010).

Figura 2 - Disposição do açaí industrializado no túnel de congelamento.



Alguns dos dados coletados nas visitas à indústria de congelamento de açaí em Castanhal/PA e que foram usados para o cálculo de carga térmica do túnel de congelamento, encontram-se no Quadro 1.

Quadro 1 - Dados para o cálculo da carga térmica do túnel de congelamento.

Grandeza	Valor
Capacidade do túnel de congelamento	20.000 kg
Fluido refrigerante	Amônia (NH ₃)
Tempo de processo (congelamento)	18 h
Dimensões (comprimento x largura x altura)	11,23 x 5,18 x 4,00 m
Temperatura de entrada do açaí industrializado	+35°C
Temperatura de saída do açaí	-26°C
Temperatura do ar externo (antecâmara)	+12°C
Temperatura ar externo (“rua”)	+35°C
Tipo de isolamento	Poliestireno expandido
Espessura de isolamento	200 mm

Segundo Dossat (2004), pode-se definir por quatro fatores a carga térmica total em um frigorífico industrial: pela carga térmica de penetração (Q_p), pela carga térmica pelo produto (Q_h), pela carga térmica pela infiltração do ar externo (Q_a) e pela carga térmica por fatores diversos (Q_d).

3.1 Carga térmica de penetração (Q_p)

O fator de penetração (Q_p) trata do calor que penetra pelas paredes, teto e piso do túnel de congelamento. Baseado em Loncan (2019), pode-se calcular a carga térmica de penetração pela Equação 1, a seguir.

$$Q_p = (S_{teto} + S_{piso} + S_{paredes}) * \left(\frac{K_i}{e_i}\right) * (t_e - t_i) \quad (1)$$

Foram utilizadas as dimensões do túnel de congelamento real em estudo e que são mostradas no Quadro 1, em que a superfície total do teto (S_{teto}) e a superfície total do piso (S_{piso}) são de 58,1714 m², As superfícies das paredes norte e sul de 44,92 m² e superfícies das paredes leste e oeste de 20,72 m² ($S_{paredes}$), o coeficiente de condutividade térmica do material (poliestireno expandido – EPS) de 0,03009 kcal/hm°C (K_i), espessura de isolamento (e_i) de 200 mm, temperatura externa para o teto (t_e) de +40°C, temperatura externa para o piso (t_e) de +30°C, temperatura externa para a parede sul de -26°C (outro túnel de congelamento), temperatura externa para a parede norte de +35°C (“rua”), temperatura externa da parede leste (antecâmara) de +12°C, temperatura externa da parede oeste de +35°C (“rua”) e temperatura interna do túnel de congelamento (t_i) de -26°C, utilizando a Equação 1, chegou-se à uma carga térmica pela penetração (Q_p) de 1.788,7747 kcal/h.

3.2 Carga térmica pelo produto (Q_h)

A carga térmica pelo produto (Q_h) para o túnel de congelamento refere-se ao calor que se deve retirar da polpa de açaí, desde a temperatura de entrada da polpa até o seu congelamento, onde pode-se calcular pela Equação 2, conforme Loncan (2019).

$$Q_h = \frac{(m * [c(t_i - t_c) + r + c' * (t_c - t_f)])}{\tau} \quad (2)$$

Para o túnel de congelamento existente em estudo, a massa de produto (m) é de 20.000 kg, o calor específico antes do congelamento (c) é 0,8993 kcal/kg°C, o calor latente de congelamento (r) de 64,8108 kcal/kg°C, o calor específico do produto depois do congelamento (c') de 0,5515 kcal/kg°C, a temperatura inicial (t_i) é de +35°C, a temperatura de congelamento (t_c) de -1,8°C, a temperatura final (t_f) é de -26°C, o tempo de processo (τ) é de 18 h. Utilizando-se a Equação 2, chega-se na carga térmica pelo produto (Q_h) no valor de 123.610,6600 kcal/h (Dias, 2019; Oliveira, 20??); Reno, 2010).

3.3 Carga térmica pela infiltração do ar externo (Q_a)

O fator de carga térmica pela infiltração do ar externo (Q_a), também chamado de calor de renovação de ar, é o calor do ar externo que infiltra pelas aberturas do túnel de congelamento. No caso específico do túnel de congelamento em estudo, a abertura que mais infiltra ar externo é a porta frigorífica. Para se calcular a carga térmica pela infiltração, inicialmente deve-se calcular o índice de renovações do ar externo (n) pela Equação 3, baseado em Loncan (2019).

$$n = \frac{3 * p * S_p * \tau p}{(V)^{0,5}} \quad (3)$$

Neste túnel de congelamento de polpa de açaí há 1 porta frigorífica (p), cuja seção livre (S_p) é de 3,84 m², ficando com o tempo de abertura para carregamento (τp) do túnel de 1 h e o volume do túnel de congelamento de 232,6856 m³. Chegou-se no índice de renovação (n) de 0,7552 renovações/h, utilizando a Equação 2. Em seguida, pode-se calcular a carga térmica pela infiltração do ar externo (Q_a) pela Equação 4.

$$Q_a = n * V * (H_e - H_i) * \gamma_e \quad (4)$$

Utilizando-se o *software* MpsyCalc da empresa Munters (2019), se inseriram as informações psicrométricas da entalpia do ar externo (H_e) de 6,55870 kcal/kg, da entalpia do ar interno de -6,0571 kcal/kg, o peso específico do ar externo (γ_e) de 1,14600 kg/m³. De acordo com a Equação 4, a carga térmica pela infiltração do ar externo (Q_a) é de 2.540,6021 kcal/h.

3.4 Carga térmica por fatores diversos (Q_d)

Trata-se do calor gerado pelos motores elétricos dos evaporadores (Q_m), pela iluminação do túnel de congelamento (Q_i) e pelas pessoas (Q_{pe}) que eventualmente trabalham no interior do túnel de congelamento.

3.4.1 Carga térmica devido à iluminação (Q_i)

Segundo Loncan (2019), a equação para calcular o fator de carga térmica pela iluminação (Q_i) é pela Equação 5.

$$Q_i = W * 0,86 \quad (5)$$

Sendo considerado, para o trabalho em estudo, a potência de iluminação (W) com 4 lâmpadas de 100 W cada uma, utilizando-se a Equação 5, chega-se a uma carga térmica parcial pela iluminação (Q_i) de 344 kcal/h.

3.4.2 Carga térmica devido aos motores dos evaporadores (Q_m)

Baseado em Loncan (2019) e Pereira e Oliveira (2021), a carga térmica devido aos motores dos evaporadores (Q_m) pode ser calculada através da Equação 6, a seguir.

$$Q_m = \left(\frac{CV}{FS}\right) * 632 \quad (6)$$

Considerando-se para a potência instalada dos motores (CV) 6 motores de 7,5 HP cada um (45,62413 CV no total), pois são 3 motores em cada um dos dois evaporadores, o fator de segurança (FS) de 1,2 e utilizando a Equação 6, chega-se à uma carga térmica devido aos motores (Q_m) de 24.028,7111 kcal/h.

3.4.3 Carga térmica devido às pessoas (Q_{pe})

Segundo Loncan (2019), a carga térmica parcial devido às pessoas (Q_{pe}) se refere ao calor liberado pelo metabolismo humano pelos trabalhadores que realizam o carregamento do túnel de congelamento, na soma dos calores latente e sensível, na classificação de trabalho de fábrica pesado. Essa parcela pode ser calculada pela Equação 7.

$$Q_{pe} = N_{pe} * q_{pe} \quad (7)$$

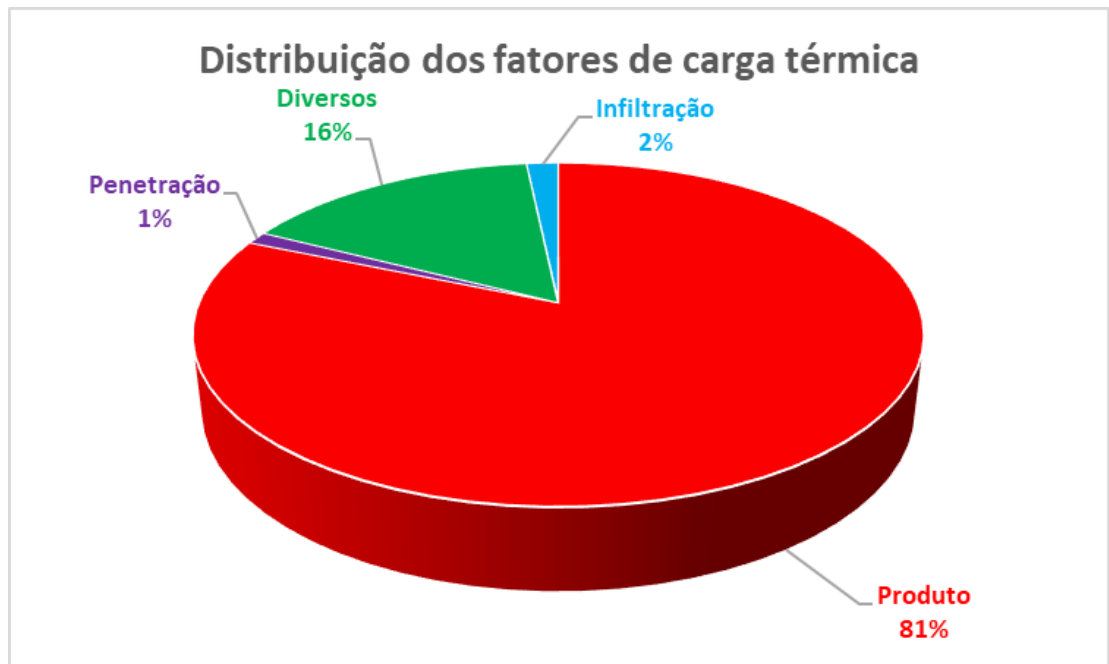
Sendo o número de pessoas em atividade no túnel de congelamento (N_{pe}) igual à 2 pessoas, o respectivo calor liberado por seus metabolismos (q_{pe}) igual à 365 kcal/h por pessoa e utilizando a Equação 7, chega-se à carga térmica devido às pessoas (Q_{pe}) no valor de 730 kcal/h.

Destarte, a carga térmica por fatores diversos (Q_d) será a soma das cargas térmicas parciais devido à iluminação (Q_i), devido aos motores dos evaporadores (Q_m) e devido às pessoas (Q_{pe}), chegando-se no valor de 25.102,7111 kcal/h.

3.5 Carga térmica total (Q_t)

Para se encontrar a carga térmica total (Q_t), deve-se somar os fatores de carga térmica pela infiltração de ar externo (Q_a), pelo calor de penetração (Q_p), pela carga térmica do produto (Q_h) e por fatores diversos (Q_d) e, conforme Macagnan (2020), se acrescenta um fator de segurança de 10% para levar em consideração possíveis discrepâncias entre o critério do projeto e a operação real, além do fator de embalagem, em que se chegou na carga térmica total de 168.347,0226 kcal/h.

Pode-se observar na Figura 3 um gráfico com a distribuição dos fatores da carga térmica total do túnel de congelamento de açaí industrializado.

Figura 3 – Distribuição dos fatores da carga térmica total do túnel de congelamento.

Conforme apresentado na Figura 3, a carga térmica do produto tem a maior participação com 81% do total, os fatores diversos com 16%, a infiltração com 2% e a penetração com 1%.

Portanto, alterações em como o produto será posto para congelamento tendem a surtir mais efeito para mais ou para menos na carga térmica. Como exemplo, pode-se mencionar o tipo de embalagem do produto que afeta drasticamente o valor da carga térmica.

4. Conclusão

Após o cálculo de carga térmica do túnel de congelamento de açaí industrializado com capacidade de 20 toneladas, se chegou no valor total de 168.347,0226 kcal/h e sendo o fator do produto o de maior influência no cálculo, com 81% da carga térmica como um todo.

Referências

- BEZERRA, V. S. (2007). *Açaí congelado*. – Embrapa informação tecnológica. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Acai_congelado_000gbzhifgi02wx5ok01dx9lchg4eb81.pdf> Acesso em: 29 set. de 2021. Brasília, DF.
- BONIFÁCIO, M. S. (2021). *Projeto de um sistema de refrigeração e climatização de um museu utilizando refrigerante R-134a*. Monografia de graduação em Engenharia Mecânica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. (2012). *Transferência de calor e massa: uma abordagem prática*. Porto Alegre: AMGH.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento (2020). *Açaí (fruto)*. Disponível em: <file:///C:/Users/duran/Downloads/Acai-Z-ZAnaliseZMensalZ-ZMarcoZ-Z2020%20(1).pdf> Acesso em: 02 out. 2021.
- DALAVECHIA, A. L. (2017). *Otimização da performance de congelamento de produtos frigoríficos em túneis contínuos*. Monografia de pós-graduação em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

- DIAS; A. C. Pereira et al (2019). *Calor específico de polpas de frutas da região norte do Brasil*. Estudo de caso: açaí (euterpe oleracea, mart.). Uberlândia.
- DOSSAT, R. J. (2004). *Princípios de refrigeração*. São Paulo: Hemus.
- LONCAN, P. (2019). *Projeto de instalações frigoríficas*. Porto Alegre: Editora da UFRGS.
- MACAGNAN, M. H. (2015). *Princípios básicos de refrigeração*. Disponível em: <<http://www.professor.unisinos.br/mhmac/Refrigeracao/index.htm>> Acesso em 02 out. 2021.
- MUNTERS (2019). *Psycalc*. Versão 5.1.
- OLIVEIRA, A. L. (20??). *Tabelas da disciplina de refrigeração e cadeia do frio*. Universidade de São Paulo. São Paulo.
- PEREIRA, M. D.; OLIVEIRA, A. S. (2020). Análise do cálculo de carga térmica de uma câmara de resfriamento de carcaças bovinas com capacidade de 42 toneladas. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*. v.6, p.0777 - 0782.
- PEREIRA, M. D.; OLIVEIRA, A. S. (2021). Análise do cálculo de carga térmica de um túnel de congelamento de aves com capacidade de 35 toneladas. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v.13.
- RENO, M. J. (2010). *Transferência de calor no congelamento de polpa de goiaba*. Universidade Federal de Lavras. Lavras.
- SILVA, M. G. (2013). *Aplicação de amônia em sistemas de refrigeração industrial*. São Paulo: SENAI-SP editora.
- STEFANINI, T. F. (2010). *Aspectos fisiológicos do fruto de açaí sob armazenamento refrigerado*. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos.