



## **Análise do cálculo de carga térmica de um túnel de congelamento de aves com capacidade de 35 toneladas**

Marcos Duran Pereira<sup>1</sup>  
Aline Silva de Oliveira<sup>2</sup>

Universidade Mauricio de Nassau (Recife/PE)  
Universidade Federal de Pernambuco (Recife/PE)

### **Resumo**

O trabalho teve como objetivo calcular a carga térmica total de um túnel de congelamento de aves do tipo estático com capacidade de 35.000 kg em um processo de 12 h de um abatedouro de aves da cidade de Santa Izabel do Pará/PA através dos fatores de infiltração, penetração, produtos e diversos, onde fez-se um estudo de campo e utilizou-se livros da categoria de refrigeração industrial. Após calcular a carga térmica total, se comparou com a capacidade dos quatro evaporadores existentes no túnel real, e chegou-se a conclusão que os evaporadores existentes eram de maior capacidade do que o cálculo teórico realizado neste trabalho.

**Palavras-chave:** Amônia; carga térmica; túnel de congelamento.

### **Introdução**

Segundo (ÇENGEL E GHAJAR, 2012, p. 264 – 273), o controle da temperatura é o mecanismo mais eficaz para se conter a taxa de crescimento de microrganismos como bactérias, leveduras e fungos nos alimentos. Através do congelamento, que é a solidificação principalmente da água contida nos alimentos em temperaturas entre -18°C e -35°C, se consegue armazená-los por vários meses, dependendo do tipo do perecível.

O Brasil é atualmente um dos maiores exportadores de carne congelada do mundo, e conforme o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), o país exportou cerca de 19,91 milhões de toneladas de frango congelado em 2019. Os túneis

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Química, Universidade Mauricio de Nassau (Recife/PE)  
duranti@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Graduanda em Enfermagem, Universidade Federal de Pernambuco (Recife/PE) guriaaline@gmail.com



de congelamento são os locais onde o frango é congelado e o túnel mais tradicional utilizado no processo de congelamento é o chamado túnel estático.

A carga térmica de um túnel de congelamento de aves pode ser conceituada como sendo a quantidade de calor por unidade de tempo que se deve retirar do ambiente (ar) e do produto (ave). É através do cálculo de carga térmica que se consegue dimensionar posteriormente os equipamentos adequados ao ciclo de refrigeração, tais como os compressores, condensadores, evaporadores, vasos de pressão e dispositivos de expansão.

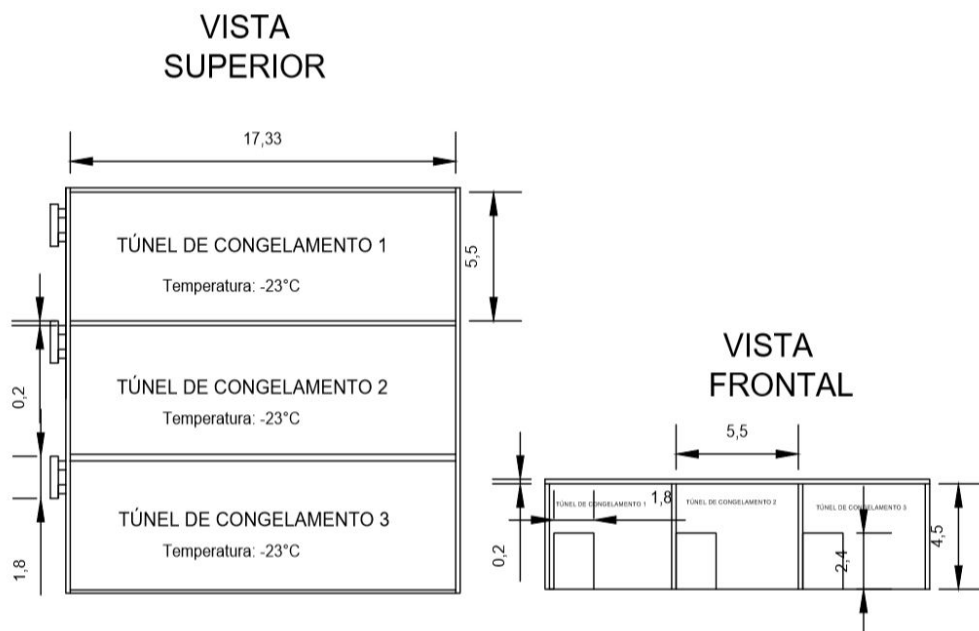
## **Metodologia**

Trata-se de uma pesquisa de campo realizada no período de 2019.2, onde se visitou algumas vezes o maior abatedouro de aves da região Norte do Brasil, com capacidade de abate diário estimado em torno de 150.000 aves, que se localiza na cidade de Santa Izabel do Pará/PA, para se coletar os dados do túnel de congelamento de aves em estudo, tais como a capacidade de congelamento em massa de produto, as medidas de comprimento, largura e altura, tipo de fluido refrigerante, tipo e espessura de isolamento, tempo de congelamento, temperaturas de entrada e saída do produto, temperaturas do ar externo, modelos e quantidades dos equipamentos de refrigeração industrial existentes (evaporadores) e também de registros fotográficos e de registros de temperatura utilizando um termosensor. Fez-se representações geométricas através do *software* Autocad para retratar o fluxograma de interligação dos equipamentos frigoríficos, a planta baixa de situação resumida e os evaporadores instalados no interior do túnel de congelamento. Além disso, este trabalho refere-se à uma pesquisa bibliográfica exploratória, baseada em dados coletados em alguns livros da categoria de refrigeração industrial para o cálculo de carga térmica e coleta de dados no catálogo do fabricante dos evaporadores do túnel de congelamento, que, no caso, é a Güntner do Brasil.

## **Resultados e discussão**

Durante as visitas ao abatedouro de aves localizado em Santa Izabel do Pará/PA, foi medido o ambiente necessário para o cálculo de carga térmica e foi feita uma planta baixa de situação simplificada dos três túneis de congelamento existentes no abatedouro de aves, através do software Autocad, conforme figura 1.

**Figura 1:** Planta baixa de situação simplificada dos três túneis de congelamento

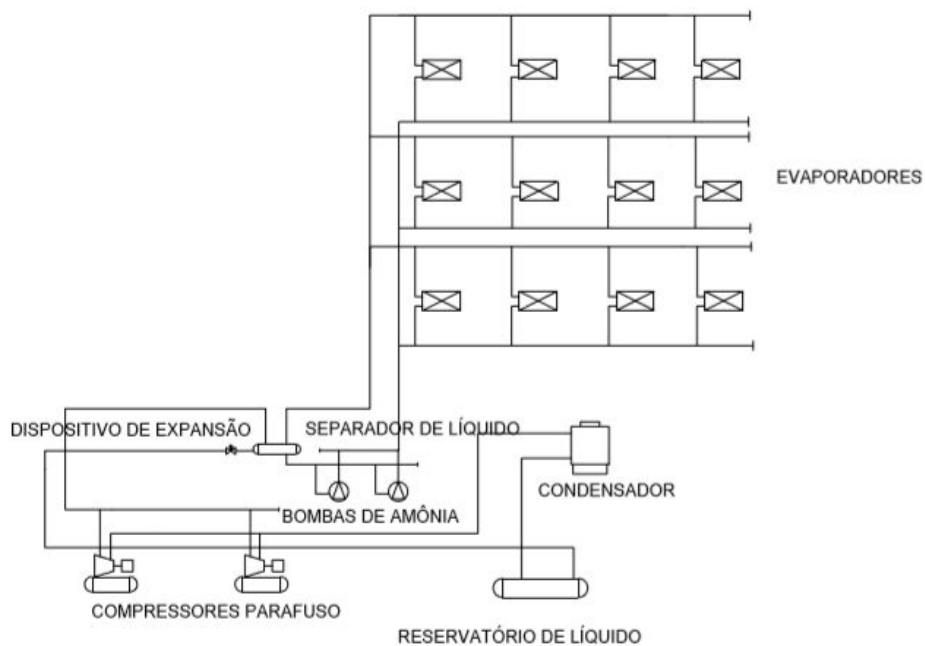


**Fonte:** os autores

Dos três túneis de congelamento existentes no frigorífico, se fez um estudo de somente um túnel, pois tratam-se de túneis de congelamento idênticos em capacidade e dimensões. Adicionalmente, realizou-se um fluxograma de interligação dos equipamentos frigoríficos, conforme figura 2, onde sabe-se que somente quatro evaporadores encontram-se no interior do túnel de congelamento em estudo, os demais equipamentos do ciclo frigorífico encontram-se interligados remotamente por tubulações, como compressores, condensador, vasos de pressão e bombas de amônia.



**Figura 2:** Fluxograma de interligação dos equipamentos do ciclo frigorífico



**Fonte:** os autores

O frango entra nos túneis de congelamento processado, em uma temperatura em torno de  $+10^{\circ}\text{C}$  (após os chillers de água gelada), embalado em caixas de 20 kg cada e colocado em prateleiras metálicas (figura 3).

**Figura 3:** Frango embalado nos túneis de congelamento



**Fonte:** os autores

Fez-se a coleta dos dados necessários para o cálculo de carga térmica do túnel de congelamento do abatedouro, consoante quadro 1.

**Quadro 1** – Dados coletados no abatedouro para o cálculo de carga térmica

Capacidade de congelamento do túnel	35.000 kg
Fluido refrigerante	Amônia (NH <sub>3</sub> )
Tempo de congelamento	12 h
Dimensões (comprimento x largura x altura)	17,33 x 5,50 x 4,50 m
Temperatura de entrada do frango	+10°C
Temperatura de saída do frango	-23°C
Temperatura do ar externo (antecâmara)	+12°C
Temperatura ar externo (“rua”)	+35°C
Tipo de isolamento	Poliestireno expandido
Espessura de isolamento	200 mm

**Fonte:** os autores

Conforme (DA COSTA, 1982, p. 280), a carga térmica total de refrigeração industrial de um frigorífico divide-se em quatro fatores principais: carga de penetração,



carga de infiltração, carga pelo produto e carga de diversos (iluminação, motores e pessoas, se houver circulação de pessoas pelo ambiente durante o processo).

### **Carga térmica de penetração (Qp)**

A carga térmica de penetração (Qp) corresponde ao calor de penetra pelas paredes, teto e piso do túnel de congelamento. Segundo (LONCAN, 2019, p. 80), a expressão para calcular a carga térmica de penetração se dá pela equação 1:

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

Sendo:

Qp = Carga térmica por penetração [kcal/h]

S<sub>teto</sub> = Superfície total do teto [m<sup>2</sup>]

S<sub>piso</sub> = Superfície total do piso [m<sup>2</sup>]

S<sub>paredes</sub> = Superfície total das paredes [m<sup>2</sup>]

K<sub>i</sub> = Condutividade térmica do material isolante [kcal/hm°C]

e<sub>i</sub> = Espessura de isolamento [m]

t<sub>e</sub> = Temperatura externa [°C]

t<sub>i</sub> = temperatura interna [°C]

Utilizando as dimensões mostradas na figura 1, o coeficiente de condutividade térmica do material (poliestireno expandido – EPS) de 0,03009 kcal/hm°C, espessura de isolamento de 200 mm, temperatura externa para o teto de +40°C, temperatura externa para o piso de +30°C, temperatura externa para a parede sul de -23°C (outro túnel de congelamento), temperatura externa para a parede norte de +35°C (“rua”), temperatura das paredes leste e oeste (antecâmaras) de +12°C, temperatura interna do túnel de -23°C, chegou-se à uma carga térmica de penetração (Qp) de 2700,99571 kcal/h.

### **Carga térmica de infiltração (Qa)**



A parcela da carga térmica de infiltração ( $Q_a$ ) pode ser definida como o calor do ar que infiltra pelas aberturas do túnel de congelamento, principalmente quando há a abertura das portas, conseqüentemente havendo uma renovação do ar. Consonante (LONCAN, 2019, p. 79), pode-se calcular a carga térmica de infiltração pelas equações 2 e 3.

$$n = \frac{3 \times p \times S_p \times \tau_p}{(V)^{0,5}} \text{ [renovações/h]} \quad (2)$$

Onde:

$n$  = Índice de renovação do ar externo [renovações/h]

$p$  = Número de portas

$S_p$  = Seção do vão livre de cada porta [ $m^2$ ]

$\tau_p$  = Tempo de abertura de cada porta [h]

$V$  = Volume do túnel de congelamento [ $m^3$ ]

No túnel de congelamento existente, são 2 portas ( $p$ ), a seção livre de cada porta ( $S_p$ ) é de  $4,32 \text{ m}^2$ , o tempo de abertura ( $\tau_p$ ) é de 1 h, o volume do túnel de congelamento ( $V$ ) igual a  $428,9175 \text{ m}^3$ . Utilizando a equação 2, chega-se a  $n = 1,25155$  renovações / h.

$$Q_a = n \times V \times (H_e - H_i) \times \gamma_e \text{ [kcal/h]} \quad (3)$$

Sendo:

$Q_a$  = Carga térmica pela infiltração de ar externo [kcal/h]

$n$  = Índice de renovação do ar externo [renovações/h]

$V$  = Volume do túnel de congelamento [ $m^3$ ]

$H_e$  = Entalpia do ar externo [kcal/kg]

$H_i$  = Entalpia do ar interno [kcal/kg]



$\gamma_e$  = Peso específico do ar externo [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

Utilizando o *software* MpsyCalc da Munters, chegou-se a dados psicrométricos da entalpia do ar externo ( $H_e$ ) de 30,87237 kcal/kg, da entalpia do ar interno de -5,24379 kcal/kg, o peso específico do ar externo de 1,14600  $\text{kg}/\text{m}^3$ . Utilizando a equação 3, chega-se a carga térmica pela infiltração de ar externo ( $Q_a$ ) de 22218,15682 kcal/h.

### Carga térmica pelo produto ( $Q_h$ )

A carga térmica pelo produto ( $Q_h$ ) se trata justamente do calor que se deve retirar do frango para se alcançar o congelamento. Nesta parcela, há o calor sensível antes do congelamento, o calor latente de congelamento e o calor sensível após o congelamento. Conforme (LONCAN, 2019, p. 73), o cálculo completo da carga térmica pelo produto se dá pela equação 4.

$$Q_h = \frac{m X [c (t_i - t_c) + r + c' (t_c - t_f)]}{\tau} \left[ \frac{\text{kcal}}{\text{h}} \right] \quad (4)$$

Onde:

$Q_h$  = Carga térmica pelo produto [kcal/h]

$m$  = Massa de frango a se refrigerar [kg];

$c$  = Calor específico do frango antes do congelamento [kcal/kg °C];

$c'$  = Calor específico do frango depois do congelamento [kcal/kg °C];

$r$  = Calor latente de congelamento do frango [kcal/kg °C];

$t_i$  = Temperatura inicial do frango [°C];

$t_c$  = Temperatura de congelamento do frango [°C];

$t_f$  = Temperatura final do frango [°C];

$\tau$  = Tempo estabelecido para o processo [h]





Para o túnel de congelamento existente, a massa de frango é de 35000 kg. Utilizando a tabela em (DA COSTA, 1982, p. 267 e 268), chega-se ao calor específico do frango antes do congelamento ( $c$ ) de 0,7905799 kcal/kg°C, o calor específico depois do congelamento ( $c'$ ) de 0,3702111 kcal/kg°C, o calor latente de congelamento do frango ( $r$ ) de 58,9997100 kcal/kg°C, a temperatura inicial do frango ( $t_i$ ) de +10°C, a temperatura de congelamento do frango ( $t_c$ ) de -2,8°C, a temperatura final do frango de -23°C ( $t_f$ ), o tempo estabelecido para o processo ( $\tau$ ) de 12 h. Com todos os dados mencionados e utilizando a equação 4, chega-se à uma carga térmica pelo produto ( $Q_h$ ) de 223409,0744 kcal/h.

### **Carga térmica de diversos ( $Q_d$ )**

A parcela de carga térmica de diversos é devida ao calor da iluminação, aos motores instalados dentro do túnel de congelamento (principalmente os motores dos motoventiladores dos evaporadores) e ao calor gerado pelo metabolismo das pessoas que circulam no túnel de congelamento durante o processo. Como não há circulação de pessoas dentro do túnel de aves durante o processo de congelamento, foi desconsiderado o fator gerado pelo metabolismo.

### **Fator de calor devido à iluminação ( $Q_i$ )**

A parcela de calor devido à iluminação ( $Q_i$ ) pode ser calculada pela equação 5, consonante (LONCAN, 2019, p. 82).

$$Q_i = W \times 0,86 \text{ [kcal/h]} \quad (5)$$

$W$  = Potência de iluminação instalada [W]

$Q_i$  = Carga térmica pela iluminação [kcal/h]

Sendo considerado 5 lâmpadas de 100 w cada e utilizando a equação 5, chega-se à uma carga térmica devido à iluminação de 430 kcal/h.



### **Fator de calor devido aos motores ( $Q_m$ )**

Segundo (LONCAN, 2019, p. 83), o fator de carga térmica pelo calor gerado pelos motores elétricos dos motoventiladores dos evaporadores instalados dentro do túnel do congelamento se dá pela equação 6.

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

$Q_m$  = Carga térmica por motores [kcal/h]

CV = Potência instalada em motores ou resistências elétricas [CV]

FS = Fator de segurança adotado na seleção dos motores [1,2]

632 = Fator de conversão kcal/h.CV.

Considerando-se 8 motores de 7,5 HP cada um (60,83218 CV no total) e utilizando a equação 6, chega-se à uma carga térmica devido aos motores de 32038,28143 kcal/h. A carga térmica de diversos é, portanto, a soma das parcelas dos calores devido aos motores e à iluminação, conforme equação 7.

$$Q_d = Q_m + Q_i \quad (7)$$

$Q_m$  = Carga térmica por motores [kcal/h]

$Q_i$  = Carga térmica pela iluminação [kcal/h]

$Q_d$  = Carga térmica por fatores diversos [kcal/h]

Somando-se a carga térmica devido aos motores ( $Q_m$ ) e carga térmica devido à iluminação ( $Q_i$ ) conforme equação 7, chega-se a carga térmica de diversos ( $Q_d$ ) de 32468,28143 kcal/h.

### **Carga térmica total**



A carga térmica total se dá pela soma de todas as cargas térmicas parciais mencionadas anteriormente, conforme equação 8. Embora alguns autores sugiram que se deva acrescentar um fator de segurança no cálculo de carga térmica para que se tenha uma margem de manobra para evitar imprevistos de projeto, desconsideramos este fator de segurança para tentar deixar o projeto mais preciso.

$$Q_t = Q_a + Q_h + Q_i + Q_d$$

(8)

Utilizando a equação 8, chegou-se em uma carga térmica total de 280796,5084 kcal/h.

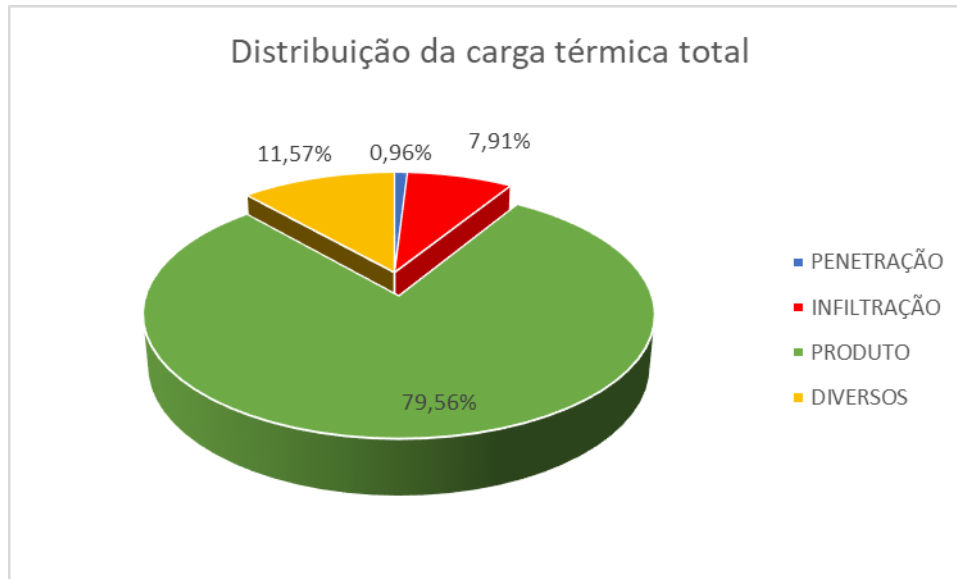
Foi feito um quadro e um gráfico com a distribuição da carga térmica total, com a participação de cada fator na carga térmica, conforme quadro 2 e figura 4.

**Quadro 2** – Distribuição da carga térmica total

Carga térmica total		
TIPO	Carga térmica (kcal/h)	%
<b>PENETRAÇÃO</b>	2700,99571	0,96%
<b>INFILTRAÇÃO</b>	22218,15682	7,91%
<b>PRODUTO</b>	223409,0744	79,56%
<b>DIVERSOS</b>	32468,28143	11,57%
<b>TOTAL</b>	280796,5084	100%

**Fonte:** os autores

**Figura 4:** Distribuição das cargas térmicas parciais



**Fonte:** os autores

### **Análise dos equipamentos reais existentes**

Foi analisada a capacidade real existente no túnel de congelamento, onde se encontram quatro evaporadores do fabricante Guntner, conforme figura 5.

**Figura 5:** Evaporadores no túnel de congelamento em estudo



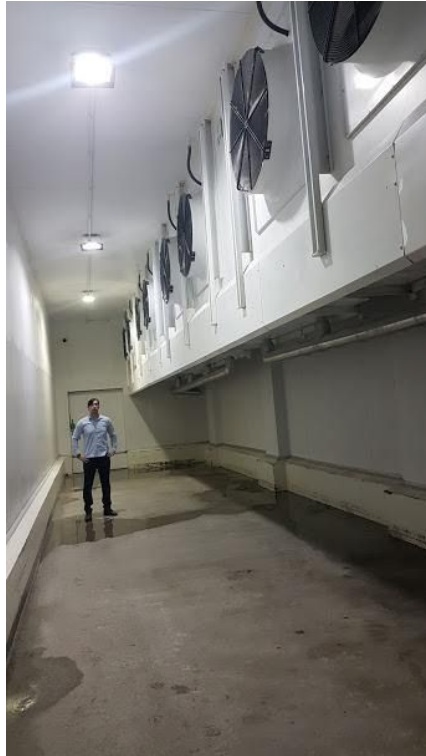
V Congresso Interdisciplinar de  
Pesquisa, Iniciação Científica e Extensão Universitária

VIII Semana da responsabilidade social  
e extensão universitária

Centro Universitário Metodista  
Izabela Hendrix

Ciência e Tecnologia: universidade, sustentabilidade  
e desenvolvimento econômico

Belo Horizonte, 21 a 24 de Setembro de 2020



**Fonte:** os autores

Através do suporte dos colaboradores da Güntner do Brasil, se conseguiu os modelos e características técnicas de cada evaporador. No caso, o modelo de cada evaporador é o S-MAN 090 e a capacidade individual de 99,1 kw, conforme mostra figura 6 a seguir:

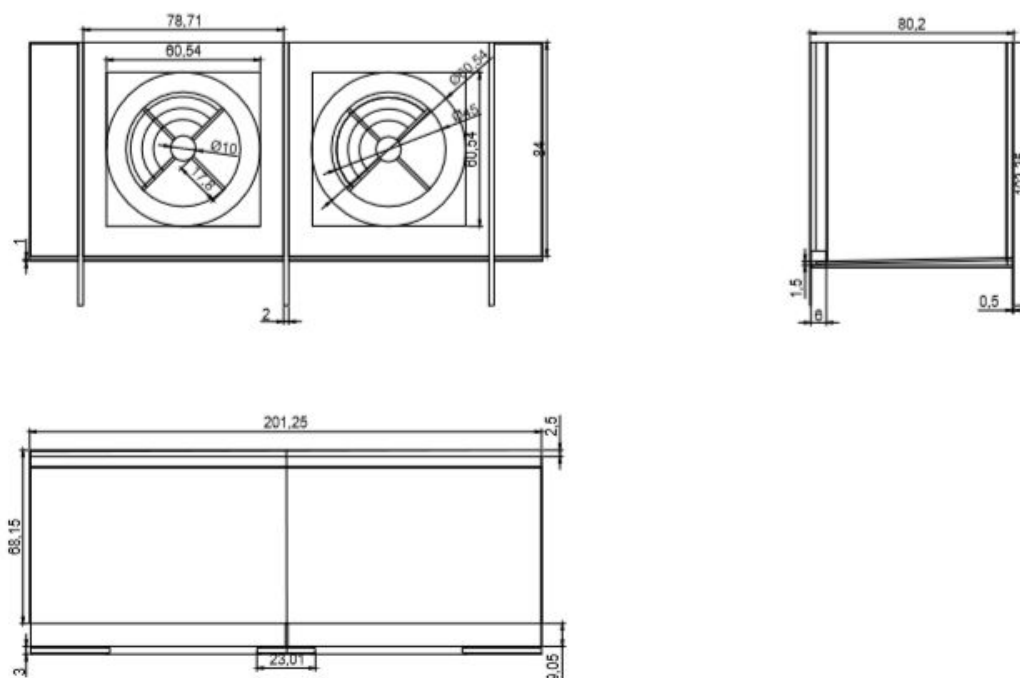
**Figura 6:** Características técnicas unitárias dos evaporadores existentes no túnel

Evaporador	S-MAN 090.1E/212-WHJ/14P	S=Bloco especial e motor WEG+Hélices	
Capacidade:	99.1 kW	Refrigerante:	NH3 (R717)
Reserva de superfície:	-0.0 %	Temperatura de evaporação:	-30.0 °C
Fluxo de ar:	70000 m³/h @ 85 Pa Pext	Taxa de alimentação (bomba):	4.0
Temperatura do Ar:	-23.0 °C <sup>(1)</sup>		
Umidade relativa:	95 %		
Pressão do Ar:	1013 mbar		
Ventiladores:	2 Peça(s) 3~400V 60HzY/(-)	Diâmetro do ventilador:	900 mm
Dados por motor (dados nominais):		Nível de pressão de ruído: a uma distância de:	69 dB(A) 3.0 m
Velocidade:	1750 min <sup>-1</sup>		
Potência:	7,5 hp mecânico		
Carenagem: Aço galvanizado, Pintura Epóxi sinal branco		Tubos:	Aço inoxidável AISI 304 <sup>(3)</sup>
Superfície:	491.4 m²	Aletas:	Alumínio <sup>(2)</sup>
Volume do tubo:	231.1 l	Conexão de entrada:	1" NPS (33.40 mm)
Espaçamento das aletas:	12.00 mm	Conexão de saída:	2 1/2" NPS (73.03 mm)
Peso seco:	996 kg <sup>(4)</sup>		
Pressão máx. de operação:	32.0 bar		
Dimensões::			

**Fonte:** Güntner do Brasil

Após coletar as medidas dos quatro evaporadores existentes dentro do túnel de congelamento, fez-se um desenho do equipamento em questão, com as vistas frontal, lateral e superior, conforme figura 7.

**Figura 7:** Representação das vistas unitárias dos evaporadores



**Fonte:** os autores



## Considerações finais

Após se calcular a carga térmica total do túnel de congelamento de aves de capacidade de 35000 kg, se chegou em um valor de 280796,5084 kcal/h e se comparou com a capacidade total dos quatro evaporadores existentes no túnel real, que é de 340842,65 e chegou-se a conclusão que os evaporadores existentes são de 17,61% maiores que o cálculo teórico realizado neste trabalho. Isso pode ser justificado pelo fato que normalmente os projetistas de refrigeração industrial colocam uma margem de segurança e consequentemente superdimensionam os evaporadores.

## Referências

CENGEL, Yunus A.; GHAJAR, Afshin J. **Transferência de calor e massa: uma abordagem prática**. Porto Alegre: AMGH, 2012.

DA COSTA, Ennio Cruz. **Refrigeração**. São Paulo: Blucher, 1982.

**Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA)**. Disponível em: <<https://www.usda.gov/>>, Acesso em 02/12/2019.

LONCAN, Paulo. **Projeto de instalações frigoríficas**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2019.

**MUNTERS Psycalc**. Versão 5.1, 2019.