

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS CACHOEIRA DO SUL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Marco Antônio Guterres de Oliveira

**Avaliação de pontos críticos no sistema de refrigeração de um baú de
caminhão frigorífico durante o processo de remessa de produtos resfriados
e congelados**

Cachoeira do Sul, RS
2020

Marco Antônio Guterres de Oliveira

Avaliação de pontos críticos no sistema de refrigeração de um baú de caminhão frigorífico durante o processo de remessa de produtos resfriados e congelados

Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) – Campus Cachoeira do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheiro Mecânico**.

Orientador: Prof. Dr. Giovani Leone Zabot

Cachoeira do Sul, RS
2020

Marco Antônio Guterres de Oliveira

Avaliação de pontos críticos no sistema de refrigeração de um baú de caminhão frigorífico durante o processo de remessa de produtos resfriados e congelados

Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) – Campus Cachoeira do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheiro Mecânico**.

Aprovado em 14 de julho de 2020:

Giovani Leone Zobot, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Juan Galvarino Cerda Balcazar, Dr. (UFSM)

Anderson Dal Molin, Me. (UFSM)

Cachoeira do Sul, RS
2020

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais que sempre me encorajaram a batalhar pelos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha mãe Daniela Guterres de Oliveira pelo suporte emocional incondicional e ao meu pai Claudio Luiz Saccol de Oliveira por me ensinar a ver o mundo de uma forma diferente.

Agradeço a minha irmã Maria Luiza Guterres de Oliveira por todo amor e carinho incondicional.

Agradeço aos meus colegas, amigos e familiares pelo apoio e carinho em todos os momentos.

Agradeço a minha namorada Carla Rossato por me motivar e me ajudar em momentos de dificuldade.

Por fim, agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Giovani Leone Zobot por me inspirar e me guiar nesta trajetória.

“A ciência é, portanto, uma perversão de si mesma, a menos que tenha como fim último, melhorar a humanidade.”

(Nikola Tesla)

RESUMO

Avaliação de pontos críticos no sistema de refrigeração de um baú de caminhão frigorífico durante o processo de remessa de produtos resfriados e congelados

AUTOR: Marco Antônio Guterres de Oliveira
ORIENTADOR: Prof. Dr. Giovani Leone Zobot

O presente trabalho teve o objetivo de elencar os principais pontos críticos no processo de transporte de produtos congelados e resfriados a fim de se obter um mapa geral de dados de referência e analisar o perfil de temperatura em um caminhão frigorífico, analisando primeiramente as funções termodinâmicas dos equipamentos presentes e como elas se relacionam com as restrições técnicas e dimensionais impostas. A partir de um entendimento geral sobre o sistema refrigerador bem como referências de como a logística no transporte e descarga de remessa geralmente ocorre, foi proposta uma avaliação de quais são os principais pontos críticos e como eles acometem o sistema refrigerador dos baús de transporte frigorífico. Para iniciar a pesquisa, foi elaborado um questionário com perguntas da parte técnica e administrativa de empresas do ramo, onde 15 participantes enviaram suas respostas pela plataforma de formulários do Google. As respostas foram computadas e compiladas em gráficos no Excel para que se obtivesse um panorama geral do transporte frigorífico. Com estas informações coletadas, uma pesquisa de campo foi feita em uma empresa deste ramo sediada na cidade de Santa Maria/RS que faz entregas na cidade de Cachoeira do Sul/RS foi direcionada a avaliar a resposta mais contrastante do questionário, que foi de encontro com as constatações da bibliografia consultada. A pesquisa de campo contou com a utilização de um *data-logger* para coletar informações da temperatura interna do baú durante um período de 24h que contemplava os períodos estacionários e os períodos de entregas de remessa. Os dados obtidos foram compilados no *software* Matlab para que gráficos de temperatura em função do tempo fossem gerados. Ao final, a avaliação do contraste entre algumas respostas e a bibliografia foi realizada para concluir a real importância de entender a infiltração de calor como ponto crítico analisado. Com a coleta de campo, a infiltração de calor durante as entregas devido à abertura de portas gerou um efeito cumulativo do aumento da temperatura interna do baú, chegando a atingir 20°C em alguns pontos específicos em alguns períodos.

Palavras-chave: Caminhão frigorífico. Transporte refrigerado. Perfil de temperatura.

ABSTRACT

Evaluation of critical points in the refrigeration system of a refrigerated loader truck during the shipping process of chilled and frozen products

AUTHOR: Marco Antônio Guterres de Oliveira
ADVISOR: Prof. Dr. Giovani Leone Zobot

The objective of the current work was listing the main critical points in the process of transporting frozen and chilled products to obtain a general map of reference data and analyze the temperature profile in a refrigerated truck. Firstly, the thermodynamic functions of the equipment and how they are related to the imposed technical and dimension restrictions were evaluated. Based on a general understanding of the refrigeration system and references on how logistics in transport and unloading of products generally occur, an assessment of the main critical points and how they affect the refrigeration system of refrigerated transport chambers was proposed. Initially, a questionnaire was prepared and forwarded to companies in this field with questions from the technical and administrative areas, where 15 participants returned their answers through the Google forms platform. The answers were computed and compiled in Excel graphs to obtain an overview of the refrigerated transport. With this collected information, a field research was carried out in a company located in the city of Santa Maria / RS that delivers products in the city of Cachoeira do Sul / RS. The data collection was proposed to evaluate the most contrasting answers of the questionnaire, based on the consulted bibliography. A data-logger was used to collect information on the internal temperature of the chamber during a 24h period, which included the stationary and unloading periods. The data obtained were compiled in the Matlab software, thus temperature graphs as a function of time were generated. At the end of the study, an evaluation of some contrasting responses from collected and bibliography data was carried out to conclude the real importance of knowing heat infiltration as a critical point analyzed. Based on data collection, the heat infiltration during deliveries as a consequence of the doors opening caused a cumulative effect of internal temperature increase, reaching 20°C in some specific points in some periods.

Keywords: Refrigerator truck. Refrigerated transport. Temperature profile.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modos de transferência de calor: condução, convecção e radiação.....	17
Figura 2 - Gradiente de temperatura dT/dx no gráfico T-x	18
Figura 3 – Desenvolvimento da camada-limite térmica sobre placa plana isotérmica.	19
Figura 4 - Radiação sendo emitida	20
Figura 5 - Ciclo de refrigeração a vapor de Carnot	21
Figura 6 - Diagrama T-s do ciclo ideal de refrigeração por compressão a vapor.....	22
Figura 7 - Diagrama de potência de compressão pela temperatura de evaporação	24
Figura 8 - Ponto de operação da válvula associada com o compressor.....	26
Figura 9 - Ciclo de refrigeração por compressão a vapor real.....	31
Figura 10 – Parte inicial do questionário na plataforma do Google	32
Figura 11 - Interior do baú frigorífico	35
Figura 12 - Tipos de caminhões mais frequentes	37
Figura 13 - Tipos de refrigeradores mais frequentes	38
Figura 14 - Escolha dos equipamentos de refrigeração (questão de múltipla escolha)	38
Figura 15 - Profissionais responsáveis pela seleção dos equipamentos	39
Figura 16 - Tipos de produtos congelados transportados	40
Figura 17 - Tipos de produtos resfriados transportados	40
Figura 18 - Prevalência de transporte congelado e resfriado.....	41
Figura 19 - Logística por dia de trabalho.....	42
Figura 20 - Distância rodoviária média percorrida.....	43
Figura 21 - Controle na descarga de remessa	44
Figura 22 - Conhecimento da temperatura interna do baú	45
Figura 23 - Fatores observados no transporte.....	46
Figura 24 - Dia 12 de fevereiro de 2020 (sensor na parede frontal do baú)	48
Figura 25 - Dia 19 de fevereiro de 2020 (sensor na parede esquerda do baú)	49
Figura 26 - Dia 26 de fevereiro de 2020 (sensor na parede direita do baú)	50
Figura 27 – Dia 04 de março de 2020 (sensor na parede traseira do baú).....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Temperaturas típicas de verão em cidades brasileiras.....	28
Tabela 2 - Parâmetros da operação	33
Tabela 3 - Características principais do equipamento T-600R.....	34
Tabela 4 - Dimensões do baú.....	34
Tabela 5 - Características do data-logger HT810	35

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área da seção transversal
A_s	Área normal à transferência de calor
COP	Coefficiente de performace
E_v	Eficiência volumétrica dos compressores alternativos
F_{cond}	Fator de troca de calor do condensador
F_{evap}	Fator de troca do evaporador
G_h	Peso de descarga de fluido sob o compressor e o expensor
h	Coefficiente de transferência de calor por convecção
h_{cd}	Entalpia de saída do condensador
h_{cp}	Entalpia de saída do compressor
h_{ev}	Entalpia de saída do evaporador
h_{ex}	Entalpia de saída do expensor
h_{lv}	Entalpia do fluido na fase líquido-vapor
h_v	Entalpia de vapor do fluido
k	Condutividade térmica
k_f	Refere ao coeficiente de condutividade térmica local
P_f	Potência frigorífica
\dot{Q}_c	Taxa de calor recebido pelo meio de resfriamento
$\dot{Q}_{cond,parede}$	Taxa de condução de calor através de paredes planas
\dot{Q}_{cond}	Taxa de condução de calor
\dot{Q}_{conv}	Taxa de transferência de calor por convecção
\dot{Q}_e	Taxa de absorver calor que evaporador possui
\dot{Q}_{rad}	Taxa de transferência de calor por radiação
$\partial T/\partial y _{y=0}$	Grandiente de temperatura
dT/dx	Gradiente de temperatura ao longo da profundidade de uma área analisada
Q_{ef}	Efeito frigorífico
Q_{ilm}	Carga térmica dos dispositivos de iluminação
Q_{inf}	Carga térmica da infiltração de calor
Q_{mqn}	Carga térmica devido ao funcionamento de máquinas no ambiente refrigerado
Q_o	Energia útil

Q_{PDT}	Carga térmica associada aos produtos armazenados
Q_{PS}	Carga térmica devido a circulação de pessoas dentro da câmara
Q_{rsp}	Carga térmica de respiração dos alimentos resfriados
Q_{total}	Carga térmica total de uma instalação
Q_{trm}	Carga térmica de transmissão de calor pelas paredes
T_1	Temperatura da superfície interna
T_2	Temperatura da superfície externa
T_{∞}	Temperatura do fluido suficientemente longe da superfície
T_c	Temperatura de condensação do refrigerante
T_e	Temperatura de evaporação do refrigerante
T_{me}	Temperatura do meio externo
T_{mi}	Temperatura do meio interno refrigerado
T_s	Temperatura da superfície
V_a	Volume total que entra no compressor
V_D	Volume deslocado no pistão
W_c	Energia gasta
ε	Emissividade da superfície
σ	Constante de Stefan-Boltzmann

SUMÁRIO

	DEDICATÓRIA	4
	AGRADECIMENTOS.....	5
	RESUMO	7
	ABSTRACT	8
	LISTA DE FIGURAS	9
	LISTA DE TABELAS	10
	LISTA DE SÍMBOLOS.....	11
	SUMÁRIO	13
1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVO GERAL	16
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1	TRANSFERÊNCIA DE CALOR	17
2.1.1	Transferência de calor por condução.....	17
2.1.2	Transferência de calor por convecção.....	19
2.1.3	Transferência de calor por radiação	20
2.2	DIAGRAMAS TERMODINÂMICOS	21
2.3	REFRIGERAÇÃO	23
2.3.1	Dispositivos mecânicos utilizados na refrigeração	23
2.3.2	Carga térmica.....	26
2.3.3	Ambientes refrigerados e suas particularidades	27
2.3.4	Influência do meio externo	27
2.4	TRANSPORTE REFRIGERADO: DISTRIBUIÇÃO DE REMESSAS.....	28
2.5	EQUIPAMENTOS DE REFRIGERAÇÃO PARA CAMINHÕES FRIGORÍFICOS ...	29
2.6	FLUIDOS REFRIGERANTES USADOS NOS EQUIPAMENTOS E CICLOS TERMODINÂMICOS	30
3	METODOLOGIA	32
3.1	QUESTIONÁRIO DE COLETA DE INFORMAÇÕES A RESPEITO DO TRANSPORTE REFRIGERADO.....	32
3.2	COLETA DE DADOS DO TRANSPORTE ENTRE SANTA MARIA E CACHOEIRA DO SUL	33
3.3	CARACTERÍSTICAS DO CAMINHÃO	34
3.4	DATA-LOGGER	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
4.1	ANÁLISE DOS PONTOS CRÍTICOS COM BASE NOS RESULTADOS DO QUESTIONÁRIO	37
4.1.1	Informações gerais das empresas	37
4.1.2	Informações de logística das empresas.....	41
4.1.3	Controle de remessa.....	43
4.2	ANÁLISE E PROCESSAMENTO DOS DADOS OBTIDOS NA PESQUISA DE CAMPO	47
5	CONCLUSÃO	52
	REFERÊNCIAS	53
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DESTINADO A EMPRESAS – 1ª PÁGINA	55
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DESTINADO A EMPRESAS – 2ª PÁGINA	56
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DESTINADO A EMPRESAS – 3ª PÁGINA	57
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DESTINADO A EMPRESAS – 4ª PÁGINA	58
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DESTINADO A EMPRESAS – 5ª PÁGINA	59

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DESTINADO A EMPRESAS – 6ª PÁGINA	.60
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DESTINADO A EMPRESAS – 7ª PÁGINA	.61
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DESTINADO A EMPRESAS – 8ª PÁGINA	.62
APÊNDICE B – ROTINA NO MATLAB.....	63

1 INTRODUÇÃO

A refrigeração de alimentos é uma prática utilizada desde muito antes do surgimento da eletricidade, onde por volta do ano de 1806, Frederic Tudor comercializava gelo para que este fosse armazenado nas *Ice Houses* com intuito de refrigerar alimentos (SEABURG e PATERSON, 2003). Com a segunda revolução industrial de 1850, mecanismos foram criados para refrigerar alimentos sem a necessidade de retirar gelo da natureza. O primeiro equipamento inventado foi a máquina de James Harrison que comprimia um fluido refrigerante a fim de resfriar ambientes industriais (BRUCE-WALLACE, 1966).

Com a necessidade crescente de sistemas de refrigeração, tanto para ambientes domésticos como industriais, os sistemas de compressão de fluido refrigerante foram evoluindo até o surgimento das primeiras geladeiras, freezers e câmaras frigoríficas. A demanda deste tipo de equipamento foi então ampliada devido à necessidade de se transportar produtos resfriados e congelados sem que estes absorvessem calor durante o transporte (PEREIRA et al., 2010).

O transporte refrigerado apresenta problemáticas mais acentuadas quando comparadas com as de uma câmara frigorífica estática. Os problemas são provenientes das condições climáticas durante a rota, das operações de carga e descarga e da delimitação de espaço para os equipamentos de refrigeração (TASSOU, DE-LILLE e LEWIS, 2012). Os equipamentos refrigeradores utilizados em caminhões frigoríficos normalmente não são dimensionados para reduzir a temperatura dos produtos transportados, apenas para mantê-la (RAI e TASSOU, 2017), o que ressalta a necessidade de se selecionar corretamente o equipamento para os tipos de operação que ele irá realizar (TASSOU, DE-LILLE e GE, 2009).

Para que se selecione corretamente um equipamento, é necessário possuir os parâmetros referentes a todas condições de trabalho. Fatores como as condições climáticas, temperaturas e operações de carga devem ser abordados a fim atender esta necessidade. Para uma abordagem prática, sensores eletrônicos podem ser dispostos no baú a fim de se obter dados para gerar gráficos temporais que demonstrem de que forma os fatores afetam o sistema (PEREIRA et al., 2010).

1.1 OBJETIVO GERAL

Coletar informações a respeito do transporte frigorífico de produtos a fim de se obter um mapa geral de dados de referência e analisar o perfil de temperatura em um caminhão frigorífico que transporta produtos congelados/resfriados entre Santa Maria/RS e Cachoeira do Sul/RS.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

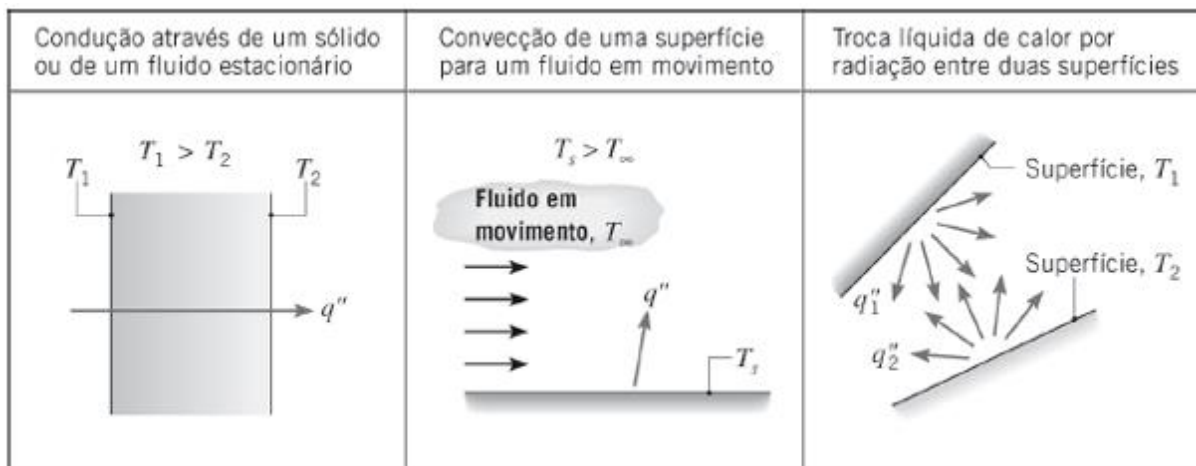
- Enviar um questionário a um conjunto de empresas do ramo de transporte frigorífico com perguntas ao assunto e, com base neste dados obtidos, conduzir a pesquisa de campo para pontos específicos de pesquisa;
- Determinar variações espaciais e temporais de temperatura no caminhão frigorífico em função das condições internas e externas;
- Identificar pontos críticos que causam aumento de temperatura, como abertura de portas, e propor modificações, se necessário.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Segundo Çengel e Ghajar (2012), a ciência da transferência de calor está relacionada com uma taxa de transferência, onde a mesma tem como base a termodinâmica, que estuda a quantidade de calor transferido quando um sistema passa por um processo de estado de equilíbrio para outro, porém, sem fazer referência ao tempo deste processo. Em seus estudos, Bergman et al. (2014, p. 2), aponta que um dos objetivos desta ciência é “[...] ilustrar uma forma na qual um conhecimento de transferência de calor pode ser usado em conjunto com a primeira lei da termodinâmica (**conservação da energia**) para resolver problemas relevantes para a tecnologia e para a sociedade”. Os diferentes tipos de processos de transferência de calor foram separados da seguinte maneira: condução, convecção e radiação. Estes modos de transferência são ilustrados na Figura 1.

Figura 1 - Modos de transferência de calor: condução, convecção e radiação



Fonte: Adaptado de Bergman et al. (2014, p. 2).

2.1.1 Transferência de calor por condução

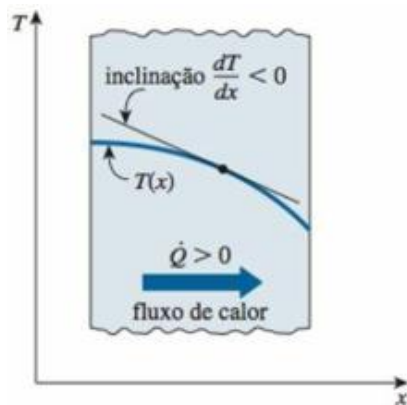
Por definição, a condução de calor é a transferência de energia térmica das partículas mais energéticas de um meio para as partículas adjacentes menos energéticas e esta movimentação pode ocorrer em líquidos, gases e sólidos sem haver transferência de massa. A taxa de condução em uma direção específica “[...] é proporcional à diferença de temperatura

ao longo do meio e à área normal na direção da transferência de calor, mas inversamente proporcional à distância naquela direção” (ÇENGEL e GHAJAR, 2012, p. 67). Desta forma, a relação pode ser expressa através da **lei da condução de calor de Fourier** descrita na equação (1).

$$\dot{Q}_{\text{cond}} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Onde k é a condutividade térmica do material medida pela capacidade do material de conduzir calor, A é área da seção transversal a ser medida, dT/dx é o gradiente de temperatura ao longo da profundidade de uma área analisada, apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Gradiente de temperatura dT/dx no gráfico T-x



Fonte: Adaptado de Çengel e Ghajar (2012, p. 67).

É importante destacar que podemos considerar um problema de transferência de calor para condições de temperaturas superficiais permanentes (ÇENGEL e GHAJAR, 2012). Desta forma, pode-se utilizar a equação (2) para determinar a taxa de condução de calor através de paredes planas.

$$\dot{Q}_{\text{cond,parede}} = kA \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (2)$$

Onde L é a espessura da parede, A é a área da superfície, T_1 é a temperatura da superfície interna e T_2 é a temperatura da superfície externa.

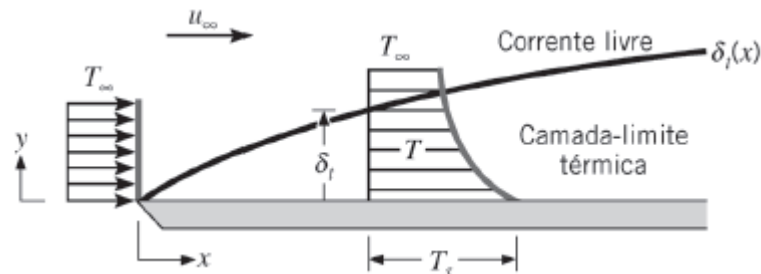
2.1.2 Transferência de calor por convecção

A convecção é um mecanismo de transferência de calor que ocorre a partir da movimentação de massa de um determinado fluido, podendo ser classificada como natural ou forçada. “[...] Na convecção forçada, o fluido é forçado a escoar sobre a superfície ou dentro de um tubo por meios externos [...]. Na convecção natural, qualquer movimento do fluido é causado por meios naturais [...]” (ÇENGEL e GHAJAR, 2012, p. 375), onde a taxa de transferência de calor por convecção é proporcional à diferença de temperatura de um sistema, podendo ser expressa pela **lei de Newton do resfriamento** descrita na equação (3).

$$\dot{Q}_{\text{conv}} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (3)$$

Onde h é o coeficiente de transferência de calor por convecção, A_s é a área normal à transferência de calor, T_s é a temperatura da superfície, T_∞ é a temperatura do fluido suficientemente longe da superfície. Os autores Bergman et al. (2014) aproximam o problema para um regime permanente sobre placa plana como mostra a Figura 3.

Figura 3 – Desenvolvimento da camada-limite térmica sobre placa plana isotérmica



Fonte: Adaptado de Bergman et al (2014, p. 222).

Desta forma, o coeficiente de transferência de calor por convecção é determinado pela equação (4). As condições no interior da camada-limite térmica têm grande influência sobre o gradiente de temperatura $\partial T/\partial y|_{y=0}$.

$$h = \frac{-k_f \partial T/\partial y|_{y=0}}{T_s - T_\infty} \quad (4)$$

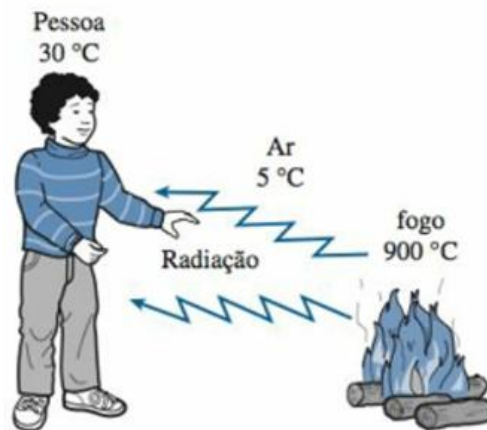
Onde k_f se refere ao coeficiente de condutividade térmica local, T_s é a temperatura da superfície, T_∞ é a temperatura do fluido suficientemente longe da superfície.

2.1.3 Transferência de calor por radiação

Neste tópico será tratada a radiação térmica, que é um mecanismo que não depende necessariamente de presença de um meio material. “Ela é um processo extremamente importante e, no sentido físico, é talvez o modo mais interessante de transferência de calor” (BERGMAN et al., 2014, p. 460). “A radiação térmica é emitida por cada ponto de uma superfície plana em todas as direções no hemisfério acima da superfície” (ÇENGEL e GHAJAR, 2012, p. 483). A amplitude de uma radiação emitida ou incidente em uma determinada direção é dita intensidade de radiação, onde os parâmetros para fluxos de radiações como a emissividade, irradiação e radiosidade são funções da intensidade.

Segundo Çengel e Ghajar (2012), a radiação ocorre na velocidade da luz e através de qualquer meio material e meio com ausência de matéria, como o vácuo, onde neste último ela não sofre nenhuma alteração de intensidade, os autores ressaltam também que qualquer corpo emite radiação independentemente de sua temperatura e da temperatura do meio de propagação, como pode ser visualizado na Figura 4.

Figura 4 - Radiação sendo emitida



Fonte: Adaptado de Çengel e Ghajar (2012, p. 684).

Dinçer e Kanoglu (2010) descrevem a taxa de transferência de calor por radiação de um objeto para vizinhança pela equação (5).

$$\dot{Q}_{\text{rad}} = \varepsilon \sigma A (T_s^4 - T_\infty^4) \quad (5)$$

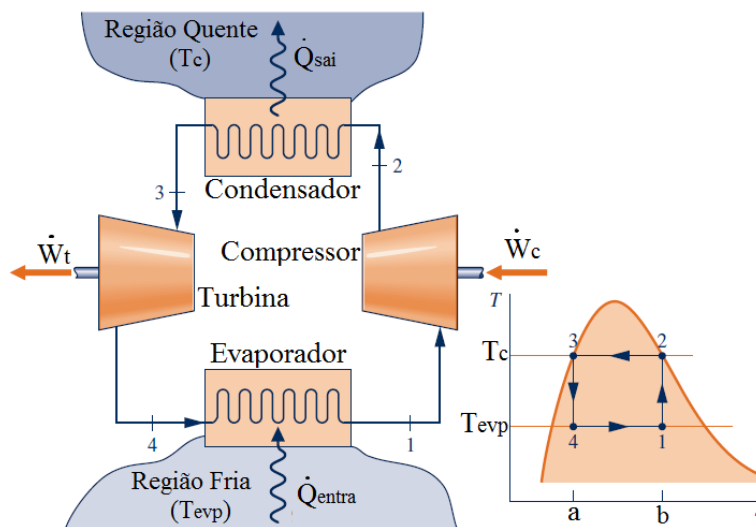
Onde ε é emissividade da superfície, σ é a constante de Stefan-Boltzmann, A é a área da superfície, T_s é a temperatura da superfície e T_∞ é a temperatura do fluido da vizinhança.

2.2 DIAGRAMAS TERMODINÂMICOS

Neste tópico serão abordadas as equações matemáticas do funcionamento da transferência de calor em sistemas termodinâmicos de conversão de energia mecânica em energia térmica e como são aplicados no funcionamento de bombas de calor.

A refrigeração é produzida através de dispositivos denominados bombas de calor. Estes equipamentos operam sobre ciclos de refrigeração, sendo eles: ciclo de refrigeração por compressão de vapor e o ciclo de refrigeração a gás, referindo-se ao primeiro como mais utilizado e denominado ciclo Rankine reverso (ÇENGEL e BOLES, 2013). Para melhor compreensão de como funcionam estes ciclos, é indispensável a análise do ciclo de refrigeração a vapor de Carnot que é o ciclo inverso de potência a vapor de Carnot (MORAN et al., 2013). A Figura 5 apresenta o funcionamento deste sistema bem com o seu diagrama de Temperatura-Entropia (T-s).

Figura 5 - Ciclo de refrigeração a vapor de Carnot



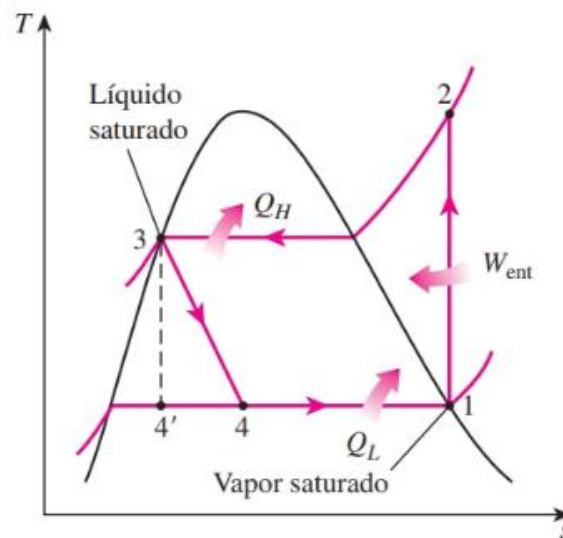
Adaptado: Adaptado de Moran et al (2013, p. 610).

Segundo Moran et al. (2013), o diagrama T-s opera da seguinte forma: 1 – 2 Compressão isentrópica em um compressor; 2 – 3 Rejeição de calor a pressão e temperatura constante em um condensador; 3 – 4 Estrangulamento isentrópico em um dispositivo de expansão; 4 – 1 Absorção de calor a pressão e temperatura constante em um evaporador. Embora este o ciclo de Carnot opere em condições ideais, ele não é o mais adequado para se elaborar uma aproximação para um ciclo real pois o processo 2 – 3 exige que o compressor opere com uma mistura líquido-vapor o que não é possível e o processo 4 – 1 envolve a expansão do fluido refrigerante com alta concentração de umidade na turbina de expansão

“[...] Entretanto, o ciclo de Carnot reverso pode servir como padrão de comparação para os ciclos de refrigeração reais” (ÇENGEL e BOLES, 2013, p. 614).

Çengel e Boles (2013) apresentam o ciclo ideal de refrigeração por compressão de vapor como um sistema passivo de ser aproximado para um caso real. O esquema de funcionamento do ciclo se mantém o mesmo da Figura 6, porém o diagrama T-s é ajustado e pode ser visualizado na Figura 6.

Figura 6 - Diagrama T-s do ciclo ideal de refrigeração por compressão a vapor



Adaptado: Adaptado de Çengel e Boles (2013, p. 614).

Çengel e Boles (2013) determinam as principais mudanças de estado como sendo a entrada de vapor saturado no compressor, estado 1, onde o fluido então é comprimido até a pressão do condensador, aumentando sua temperatura a níveis mais elevados que a vizinhança. Ao entrar no estado 2, o refrigerante se encontra na condição de vapor superaquecido. Então, o calor é liberado até que o mesmo volte à condição de líquido saturado quando entra no estado 3.

Neste estágio ocorre uma estrangulação do fluido de trabalho através de uma válvula de expansão ou tubo capilar, onde ocorre o estrangulamento da seção do tubo, provocando uma queda de pressão fazendo com que a temperatura caia a níveis menores que a do meio refrigerado. Ao entrar no estado 4 como uma mistura saturada com baixa porcentagem de vapor, é evaporado completamente pela ação do calor absorvido do meio externo. Após se tornar vapor saturado, novamente o fluido retorna para o estado 1, completando o ciclo.

2.3 REFRIGERAÇÃO

Miller e Miller (2014) apresentam a refrigeração como um processo de remoção de calor de um ambiente específico para um fim desejado. Este calor retirado é conduzido mecanicamente para outro local, geralmente o ambiente externo.

Costa (1982) classifica a refrigeração em três tipos: arrefecimento, redução da temperatura de um corpo até a temperatura ambiente; resfriamento, redução da temperatura de um corpo até seu ponto de congelamento; congelamento, redução da temperatura de um corpo aquém de seu congelamento.

Stoecker e Jabardo (2002) complementam apresentando o conceito de refrigeração industrial, que tem como objetivo refrigerar alguma substância ou meio. Esta operação requer componentes básicos como compressores, trocadores de calor, ventiladores, bombas, tubos, dutos e controladores. Os autores ressaltam que, apesar de compartilhar do mesmo mecanismo para condicionamento de ar, o processo de refrigeração é mais complexo e tem maior valor agregado.

2.3.1 Dispositivos mecânicos utilizados na refrigeração

Um sistema de refrigeração, segundo Çengel e Boles (2013), é composto basicamente por um compressor, um evaporador, uma válvula de expansão e um condensador. O método de compressão por ser classificado como alternativo, centrífugo ou rotativo e o método de acionamento classificado como independente, semi-hermético e hermético (MILLER e MILLER, 2014). “A escolha do tipo de compressor depende essencialmente da capacidade da instalação e do fluido refrigerante usado” (COSTA, 1982, p. 76). Compressores alternativos são mais comuns em instalações de pequeno e médio porte. Compressores rotativos são mais comuns em pequenos sistemas como freezers domésticos, mas também em grandes plantas onde atua como booster de compressão por estágio. Já os compressores centrífugos são utilizados em grandes instalações com refrigeração à água, denominados *chillers*.

Compressores alternativos independentes possuem a importante característica de serem acionados por um motor externo à sua carcaça, tornando-os ideais para instalações que operem com amônia. Os semi-herméticos têm a característica de possuir o motor de acionamento na mesma carcaça do compressor, propiciando não só um resfriamento do motor durante a operação quanto a possibilidade de acesso ao mesmo para manutenção. Este tipo é exclusivo para refrigerantes halogenados. Os herméticos são mais comuns em operações não industriais, como freezers domésticos e condicionadores de ar, construídos de tal forma que o

motor esteja na mesma carcaça do compressor, não possibilitando sua manutenção. Esta característica reduz as chances de ocorrer vazamento do fluido, tendo em vista sua operação essencialmente residencial (STOECKER e JABARDO, 2002).

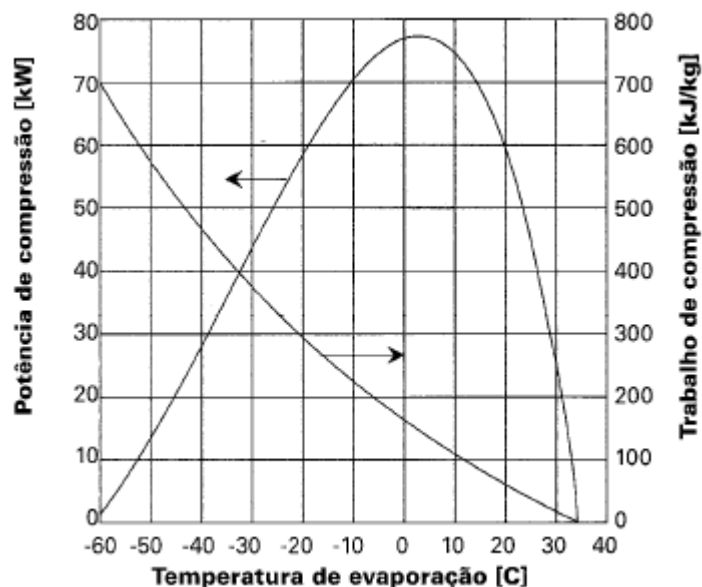
Dossat (1961) apresenta a equação (6) da eficiência volumétrica dos compressores alternativos (E_v). Segundo Stoecker e Jabardo (2002, p. 69), essa eficiência “[...] é o parâmetro chave na interpretação do desempenho dos compressores alternativos [...]”.

$$E_v = \frac{V_a}{V_D} \cdot 100 \quad (6)$$

Onde V_a é o volume total que entra no compressor e V_D é o volume deslocado no pistão.

A energia consumida pelo compressor é outro aspecto importante a ser abordado tendo em vista que ela impacta diretamente no custo operacional de uma instalação. Este consumo de energia está diretamente associado com a potência de compressão pela temperatura de evaporação, podendo ser visualizado no diagrama da Figura 7 apresentado por Stoecker e Jabardo (2002).

Figura 7 - Diagrama de potência de compressão pela temperatura de evaporação



Fonte: Adaptado de Stoecker e Jabardo (2002, p. 73).

Outro dispositivo essencial em um sistema de refrigeração é o condensador. Silva (2005) salienta a complexidade de representar o comportamento deste dispositivo devido à alta temperatura de entrada do fluido e a necessidade de condensar o vapor por completo. O

comportamento do condensador interagindo com o meio externo pode ser descrito pela equação (7).

$$\dot{Q}_c = F_{\text{cond}}(T_c - T_{\text{me}}) \quad (7)$$

Onde \dot{Q}_c é a taxa de calor recebido pelo meio de resfriamento, F_{cond} é o fator de troca de calor do condensador, T_c é a temperatura de condensação do refrigerante e T_{me} é a temperatura do meio externo. O fator de troca de calor do condensador é um parâmetro encontrado nos catálogos de fabricantes destes dispositivos, mas é importante ressaltar que este fator varia conforme as condições do projeto (SILVA, 2005).

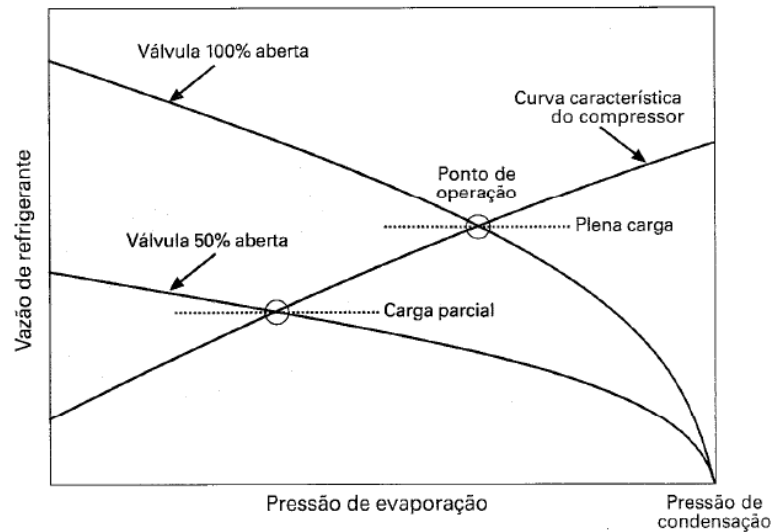
Stoecker e Jabardo (2002) apresentam o evaporador como sendo o dispositivo que age diretamente no resfriamento do meio de interesse, constituindo a interface entre o processo e o circuito frigorífico. Este equipamento possui a capacidade de trocar calor e massa de ar do ambiente por meio de suas aletas, que propiciam uma redução da resistência térmica exterior. Analogamente ao sistema de condensação, o calor trocado com o meio refrigerado pode ser descrito pela equação (8).

$$\dot{Q}_e = F_{\text{evap}}(T_{\text{mi}} - T_e) \quad (8)$$

Onde \dot{Q}_e é a taxa de absorver calor que evaporador possui, F_{evap} é o fator de troca do evaporador, T_e é a temperatura de evaporação do refrigerante e T_{mi} é a temperatura do meio interno refrigerado (SILVA, 2005).

Stoecker e Jabardo (2002, p. 245) apresentam a válvula de expansão controlada por superaquecimento ou termo-válvula como sendo a mais utilizada em instalações frigoríficas. “Na prática ela é conhecida como válvula de expansão termostática, designação inadequada, uma vez que sugere a manutenção da temperatura de evaporação constante, o que não corresponde à realidade”. Para fins de análise, é plausível utilizar uma temperatura de evaporação constante. Desta forma, é possível fazer uma relação da vazão de refrigerante sob a pressão de evaporação. Esta relação pode ser visualizada no diagrama da Figura 8.

Figura 8 - Ponto de operação da válvula associada com o compressor



Fonte: Adaptado de Stoecker e Jabardo (2002, p. 248).

2.3.2 Carga térmica

A refrigeração industrial trabalha com valores de temperatura que geralmente variam de -70°C a 15°C . Desta forma, sua aplicação é diretamente voltada a indústrias químicas, de alimentos e de processos (STOECKER e JABARDO, 2002). A capacidade de um sistema refrigerador de retirar calor até atingir temperaturas específicas é quantificada por potência frigorífica ou carga térmica de refrigeração (COSTA, 1982). Para discretizar esta grandeza, o autor apresenta a equação (9) associada com a equação (10).

$$P_f = G_h \cdot Q_{ef} \quad (9)$$

$$Q_{ef} = h_v - h_{lv} \quad (10)$$

Onde G_h é o peso de descarga de fluido sob o compressor e o expensor, Q_{ef} é o efeito frigorífico, h_v é a entalpia de vapor do fluido, h_{lv} é a entalpia do fluido na fase líquido-vapor.

Stoecker e Jabardo (2002) apresentam o termo efeito de refrigeração equivalente ao efeito frigorífico apresentado por Costa (1982). Este termo é importante para calcular a eficiência de um sistema onde o mesmo é denominado por coeficiente de performance (COP) apresentado por Dossat (1961). O COP para um sistema refrigerado é interpretado como sendo a razão entre o efeito frigorífico e o trabalho do compressor apresentado na equação (11).

$$\text{COP} = \frac{h_{\text{ev}} - h_{\text{ex}}}{h_{\text{cp}} - h_{\text{cd}}} = \frac{Q_o}{W_c} = \frac{\text{Energia Útil de Refrigeração}}{\text{Energia Gasta pelo Compressor}} \quad (11)$$

Onde h_{ev} é a entalpia de saída do evaporador, h_{ex} é a entalpia de saída do expansor, h_{cp} é a entalpia de saída do compressor, h_{cd} é a entalpia de saída do condensador, Q_o e W_c representam a energia útil e a energia gasta, respectivamente.

2.3.3 Ambientes refrigerados e suas particularidades

Costa (1982, p. 273) define o conceito de entrepostos frigoríficos: “[...] são conjuntos de câmaras frias, que permitem a refrigeração, a congelação e a conservação pelo frio de gêneros perecíveis”. Além de câmaras frias, os entrepostos contêm essencialmente uma casa de máquinas, um serviço administrativo industrial e um local de carga e descarga de produtos.

Silva (2005) introduz o cálculo da carga térmica para instalações frigoríficas. Este cálculo envolve as condições climáticas externas e as condições operacionais internas de uma câmara fria. Desta forma, a carga térmica total de uma instalação é dada pela equação (12).

$$Q_{\text{total}} = \sum Q = Q_{\text{trm}} + Q_{\text{inf}} + Q_{\text{ilm}} + Q_{\text{PS}} + Q_{\text{mqn}} + Q_{\text{PDT}} + Q_{\text{rsp}} \quad (12)$$

Onde Q_{trm} é carga térmica de transmissão de calor pelas paredes, Q_{inf} é carga térmica da infiltração de calor, Q_{ilm} é carga térmica dos dispositivos de iluminação, Q_{PS} é carga térmica devido a circulação de pessoas dentro da câmara, Q_{mqn} é a carga térmica devido ao funcionamento de máquinas no ambiente refrigerado, Q_{PDT} é carga térmica associada aos produtos armazenados e Q_{rsp} é a carga térmica de respiração dos alimentos resfriados.

2.3.4 Influência do meio externo

Silva (2005) afirma que o meio externo implica diretamente no controle do frio de uma câmara frigorífica, sendo esta influência devido a orientação das paredes em relação ao sol, à diferença de temperatura do ambiente interno para o externo e o coeficiente de convecção do fluido que circula ao redor da instalação. Costa (1982) apresenta outras condições externas que influenciam sistemas frigoríficos sendo elas, a latitude e altitude do local, bem como a temperatura média das máximas temperaturas de verão.

Sendo o Brasil um país predominantemente de clima tropical, o fator de temperatura externa tem grande influência em um projeto frigorífico, pois este implica diretamente no consumo de energia do sistema (SILVA, 2005). O Instituto Nacional de Meteorologia levanta dados a respeito das temperaturas típicas de verão para diversas cidades brasileiras. Algumas delas estão listadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Temperaturas típicas de verão em cidades brasileiras

Cidade	Temperatura média de bulbo seco (°C)	Umidade relativa média (%)	Altitude (m)
Florianópolis	32,0	62,0	Nível do mar
São Paulo	31,0	55,0	760,0
Recife	32,0	62,0	Nível do mar
Cuiabá	36,0	50,0	176,0
Santa Maria	30,0	72,00	113,0
Cachoeira do Sul	31,0	69,00	26,0

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (2018).

2.4 TRANSPORTE REFRIGERADO: DISTRIBUIÇÃO DE REMESSAS

Segundo Instituto Nacional de Refrigeração (2006 apud PEREIRA et al., 2010, p. 158), o sistema de refrigeração de um caminhão frigorífico não é geralmente projetado para reduzir a temperatura dos produtos transportados, mas sim mantê-la a mesma na qual o produto foi condicionado. Sistemas refrigerados de transporte rodoviário operam em condições mais severas quando comparados a sistema estacionários como frigoríficos, principalmente devido à alta incidência solar e o atrito das paredes externas com o vento que se desloca em uma velocidade elevada (TASSOU, DE-LILLE e LEWIS, 2012).

Thompson, Brecht e Hinsch (2002) citam em sua obra que devido as condições de operação de um caminhão frigorífico, o sistema refrigerador não tem uma boa eficiência. Segundo Tassou, De-Lille e Lewis (2012), as restrições do projeto deste equipamento atentam para menor peso, menor consumo de energia e um fluido refrigerante específico.

Pereira et al. (2010, p. 162) realizaram um levantamento de dados sobre a remessa de produtos em sete dias de trabalho, onde neste estudo foi possível demonstrar que “Quanto maior o número de entregas (maior o número de abertura de portas), maior a entrada de ar quente e úmido proveniente do ambiente externo”. Geralmente, o efeito das aberturas é

cumulativo. Rai, Sun e Tassou (2019) levaram em consideração tal efeito ao desenvolver estudo sobre as cortinas de ar para barrar a infiltração.

Segundo Foster et al. (2007 apud RAI, SUN e TASSOU, 2019, p. 208), a redução de abertura de portas pode ter uma efetividade de 71% em barrar a infiltração de ar em câmaras frias. Tendo em vista o forte impacto que a abertura das portas durante a remessa de produtos tem sobre o sistema de refrigeração, onde este exige sua máxima capacidade de operação, é recomendado que o tempo em que as portas fiquem abertas seja o mínimo possível (TASSOU, DE-LILLE e GE, 2009).

2.5 EQUIPAMENTOS DE REFRIGERAÇÃO PARA CAMINHÕES FRIGORÍFICOS

Segundo Tassou, De-Lille e Ge (2009), o método mais comum utilizado em caminhões frigoríficos é o sistema de refrigeração por compressão a vapor. Contudo, existe uma gama de compressores que podem ser utilizados, sendo selecionados de acordo com as condições de operação do sistema. Entretanto, na prática, o equipamento irá operar em situações variadas de peso líquido de carga e temperaturas específicas. Isto delimita a eficiência do sistema, sendo que na maioria dos casos tende a ter um COP entre 0,5 e 1,5.

O Departamento de Transportes do Reino Unido (2007) apresenta em seu guia para compras de equipamentos refrigeradores de transporte os quatro sistemas mais comuns utilizados em veículos. O primeiro é o veículo com unidade alternadora, onde o próprio eixo do motor do veículo é ligado a um alternador que carrega uma bateria, a qual impulsiona o motor elétrico auxiliar do refrigerador. Este sistema é muito utilizado em pequenos furgões.

O segundo sistema é o de correia de transmissão direta, onde o compressor da unidade refrigeradora é conduzido por uma correia ligada ao eixo do veículo, muito utilizado em vans médias. O terceiro sistema é o de alternador auxiliar, onde este é uma combinação do primeiro e do segundo sistemas. Ele é utilizado em vans maiores, com maior capacidade de carga. O quarto sistema é o motor diesel auxiliar, sendo esse mais comumente utilizado em caminhões de médio e grande porte onde o compressor é conduzido por um motor próprio.

Em sistemas mais modernos, o equipamento refrigerador de motor diesel auxiliar poderá dispor também de um motor elétrico auxiliar. Sendo opcional na linha T-880R da Thermo King (2017), o sistema *SmartPower*TM promete reduzir os custos de operação em até 75%, além de reduzir os poluentes gerados pelo motor diesel. A Carrier (2016) traz em seus catálogos dois tipos de compressores utilizados em seus refrigerados, o compressor do tipo scroll utilizado em equipamentos maiores acoplados a semi-reboques e o compressor alternativo utilizado em dispositivos compactos para caminhões simples de bloco único.

Para a medição de temperatura, Pereira et al. (2010) utilizam sensores de temperatura da marca Testo modelo T-175-H1 do tipo NTC que operam nas faixas de -10 a 50 °C. Também foram utilizados termopares da mesma marca modelo T-177-T4 do tipo K. Os dados coletados foram armazenados em um *data-logger*.

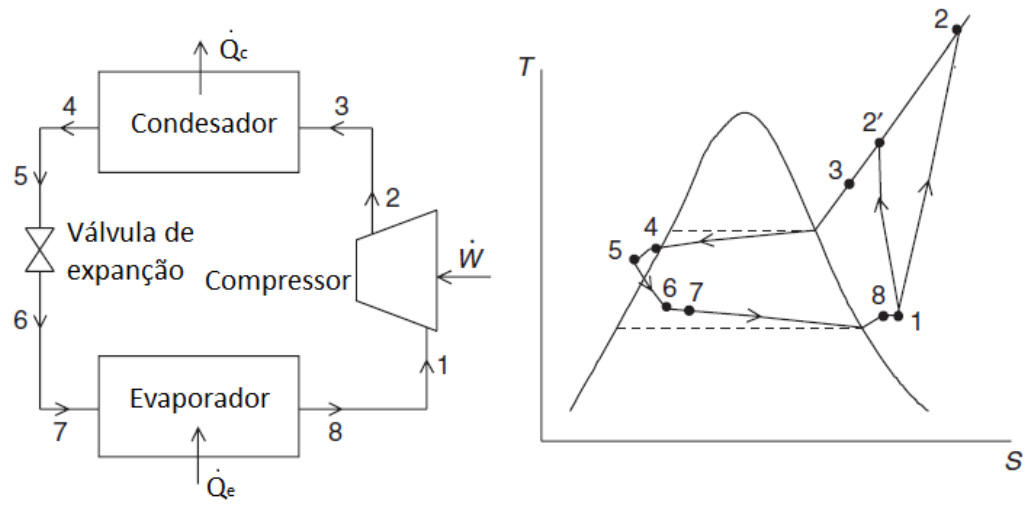
2.6 FLUIDOS REFRIGERANTES USADOS NOS EQUIPAMENTOS E CICLOS TERMODINÂMICOS

O refrigerante é o fluido de trabalho que irá ser submetido aos processos do ciclo de refrigeração, originalmente sendo utilizados os CFCs (hidrocarbonetos à base de flúor e cloro). Quando permitidos, eles tinham condições desejáveis para um projeto, não eram inflamáveis, explosivos ou corrosivos, quase não apresentavam toxicidade e eram muito estáveis (SILVA, 2005). Silva (2005) relata que, em meados de 1974, problemas com os CFCs foram detectados, sendo um deles a capacidade dos compostos de destruir as moléculas da camada de ozônio. Com isto, em 1986 foi determinado o Protocolo de Montreal, que exigia a substituição dos CFCs.

Stoecker e Jabardo (2002) apresentam as mais comuns alternativas de fluido utilizadas em sua época. O R12 (CFC) foi substituído pelo R134a (HFC) ou pelo R22 (HCFC), sendo muito comum em automóveis. Já na indústria, era comum a utilização do R502, o qual está sendo substituído pelo R404a. A amônia, R717 (NH₃), possui uma excelente eficiência, sendo muito utilizada em sistemas frigoríficos industriais. Porém, apresenta uma alta toxicidade, o que limita sua utilização em equipamentos residenciais, como geladeiras. A Thermo King (2017), por exemplo, utiliza o refrigerante R404a em seus equipamentos devido às condições de trabalho, uma vez que existe uma real possibilidade de acidentes no meio rodoviário e, por isso, não utiliza a amônia

O sistema de refrigeração por compressão a vapor segue o padrão de um ciclo de Rankine reverso, onde o fluido refrigerante passa pelos processos de evaporação, compressão, condensação e expansão (DINÇER e KANOGLU, 2010). O ciclo real pode ser visualizado nos diagramas da Figura 9.

Figura 9 - Ciclo de refrigeração por compressão a vapor real



Fonte: Adaptado de Dinçer e Kanoglu (2010, p. 156).

3 METODOLOGIA

A bibliografia consultada evidenciou a necessidade de se realizar um estudo sobre a influência das condições climáticas, da temperatura e das operações de carga e descarga sob o transporte refrigerado. Para que a pesquisa fosse direcionada para os fatores de real importância, foi necessário fazer uma avaliação prática de como funciona a operação do transporte refrigerado, incluindo os tipos de equipamentos utilizados, como são feitas a seleção dos mesmos, quem seleciona, o tipo de produto que será transportado, de que forma e como é feito este transporte e quais fatores os operadores observam durante o transporte.

3.1 QUESTIONÁRIO DE COLETA DE INFORMAÇÕES A RESPEITO DO TRANSPORTE REFRIGERADO

Para que se obtivessem os dados necessários das empresas do ramo, foi elaborado um questionário (Apêndice A), que de forma prática, pudesse coletar as informações relevantes. Este foi convertido na plataforma de formulários do Google, o que o tornou mais dinâmico e simples de ser respondido (Figura 10). Todas as perguntas realizadas estão disponíveis no Apêndice A. Este tipo de formulário permite a geração de gráficos automaticamente com base nas respostas obtidas.

Figura 10 – Parte inicial do questionário na plataforma do Google

Questionário de coleta de informações para Trabalho de Conclusão de Curso

Questionário destinado a empresas que possuem caminhões frigoríficos para transporte de alimentos congelados e resfriados a fim de coletar informações relevantes para elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso I.

Nome estudante: Marco Antônio Guterres de Oliveira

Nome orientador: Prof. Dr. Giovani Leone Zabet

Disciplina: CSEM4049 – Trabalho de Conclusão de Curso I

Universidade Federal de Santa Maria - Campus Cachoeira do Sul

Fonte: Autor.

Através de um convite formal via e-mail, 40 empresas do ramo de transporte refrigerado de produtos alimentícios receberam o link para o questionário. Foram utilizados códigos para referenciar as empresas ao longo do documento. Tudo o que poderia fazer menção à empresa foi codificado para manter o anonimato e garantir o sigilo de dados da empresa.

3.2 COLETA DE DADOS DO TRANSPORTE ENTRE SANTA MARIA E CACHOEIRA DO SUL

Os dados coletados do questionário auxiliariam para direcionar a pesquisa de campo, que foi feita sobre um caminhão simples de chassi único do tipo 6x2 que transporta alimentos congelados e resfriados partindo de uma central de distribuição de uma determinada empresa localizada na cidade de Santa Maira – RS com destino a 4 mercados na cidade de Cachoeira do Sul – RS. Para esta etapa da pesquisa, foram realizadas 4 coletas do transporte de produtos congelados em que o caminhão realizou o deslocamento de forma similar todas as operações, conforme dados descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros da operação

Transporte Congelado				
Data	12/02/2020	19/02/2020	26/02/2020	04/03/2020
Horário de carregamento	20h:00min do dia 11/02	21h:00min do dia 18/02	20h:00min do dia 25/02	19h:00min do dia 03/03
Horário da última entrega	18h:30min do dia 12/02	16h:00min do dia 19/02	16h:30min do dia 26/02	16h:30min do dia 04/03
Temperatura máxima do dia	30°C	28°C	27°C	29°C
Posição do data-logger	Parede frontal do baú	Parede lateral esquerda	Parede lateral direita	Parede traseira
Tipos de produtos transportados	Carne bovina, suína e de frango	Carne bovina, suína e de frango	Carne bovina, suína e de frango	Carne bovina, suína e de frango

Fonte: Autor.

3.3 CARACTERÍSTICAS DO CAMINHÃO

O caminhão objeto de estudo disponibilizado pela Empresa onde os estudos foram realizados possui um refrigerador da marca Thermo King modelo T-600R, o qual suas características estão descritas no quadro da Tabela 3.

Tabela 3 - Características principais do equipamento T-600R

Parâmetro	Condição
Temperatura mínima	-18°C
Capacidade de refrigeração	10.500 (Btu/h) 3.077 (Watts)
Fluido refrigerante	R 452A

Fonte: Thermo King (2018).

Este equipamento foi selecionado pela Empresa para suprir as necessidades do baú, sendo que suas dimensões estão descritas na Tabela 4. O baú possui duas portas de acesso. A principal porta fica na parte na traseira e a secundária é localizada na lateral direita.

Tabela 4 - Dimensões do baú

Dimensões	Valores
Comprimento	7,50 m
Largura	2,30 m
Altura	2,50 m
Área inferior	17,25 m ²
Volume	39,68 m ³
Peso líquido	12.000 kg

Fonte: Empresa proprietária do caminhão.

Para a divisão de produtos congelados e resfriados, a parte interna do baú possui uma parede móvel de material isolante. A refrigeração do compartimento resfriado é feita através de um ventilador instalado na porta, o qual mantém a ventilação de acordo com a necessidade. Porém, este controle é feito manualmente (Figura 11). Apesar do baú possuir esta barreira de divisão, as portas de acesso não possuem cortinas corta vento, embora o gerente da empresa

afirme que a maioria dos locais onde é feita e entrega de remessas não possui uma antecâmara de descarregamento.

Figura 11 - Interior do baú frigorífico



Fonte: Autor.

3.4 DATA-LOGGER

Para a coleta dos dados de temperatura, foi utilizado um *data-logger* de temperatura da marca Instrutherm modelo HT-810 em que suas especificações estão dispostas na Tabela 5.

Tabela 5 - Características do *data-logger* HT810

Parâmetro	Condição
Escala	-30°C a 70°C
Precisão	±0,5°C
Resolução	0,1°C
Capacidade de memória	32.000 registros
Sensor	Resistor Termal Interno
Certificado de calibração	Laboratório de Calibração Instrutherm

Fonte: Instrutherm (2015).

Este equipamento dispõe de um software próprio de análise de dados para gerar relatórios, bem como disponibiliza em uma planilha de Excel todos os valores registrados. Porém, foi optado por utilizar o *Software Matlab* para a compilação e geração de gráficos, pois este programa possui opções mais específicas de plotagem. Para isto, foi criado um algoritmo que lê os dados da planilha no Excel e formula um gráfico de temperatura pelo tempo em uma escala de -15°C a 30°C por 24h. A rotina pode ser visualizada no Apêndice B.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico foram analisados os resultados obtidos no questionário às empresas e como eles se relacionam com os dados obtidos na coleta feita na Empresa referenciada neste estudo. Também, foi feita uma análise dos gráficos temporais para identificar possíveis problemas em relação à distribuição das remessas e como isso afeta o desempenho do equipamento refrigerador.

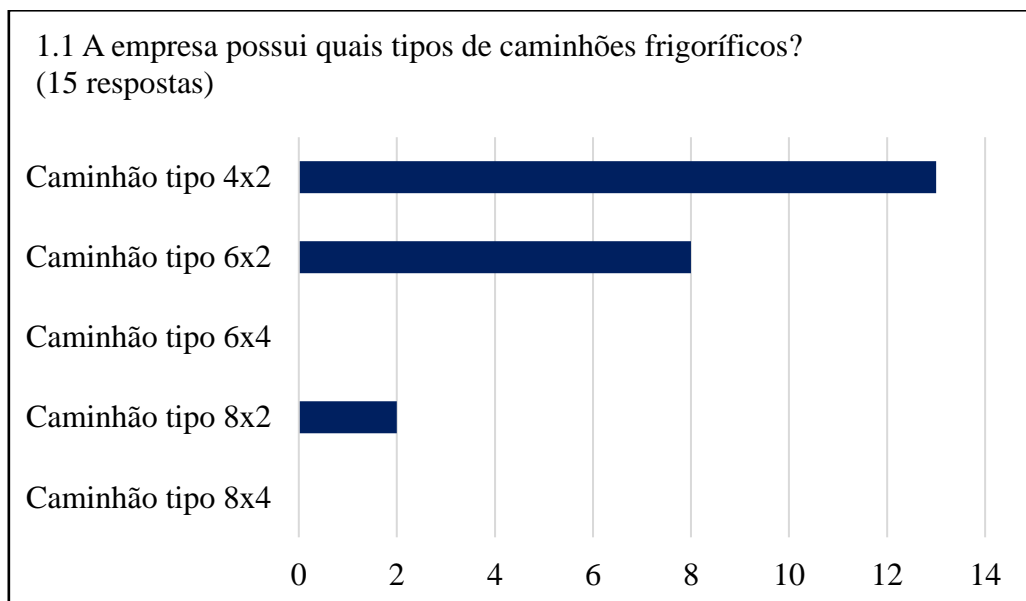
4.1 ANÁLISE DOS PONTOS CRÍTICOS COM BASE NOS RESULTADOS DO QUESTIONÁRIO

Através do questionário, foi possível verificar tendências frequentes na maioria das empresas do ramo, com o total de 15 respostas.

4.1.1 Informações gerais das empresas

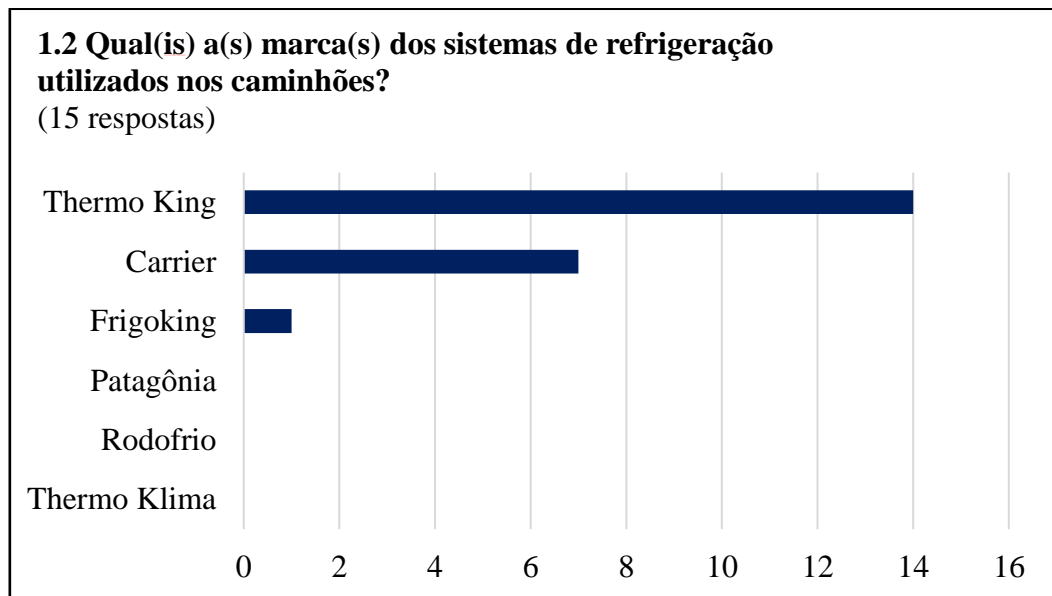
Esta parte do questionário foi essencial para identificar quais os tipos mais comuns de caminhões utilizados pelo setor, bem como os equipamentos refrigeradores mais comuns, sendo eles os modelos 4x2 e 6x2 e os refrigeradores Carrier e Thermo King, como mostram os gráficos das Figura 12 e Figura 13.

Figura 12 - Tipos de caminhões mais frequentes



Fonte: Autor.

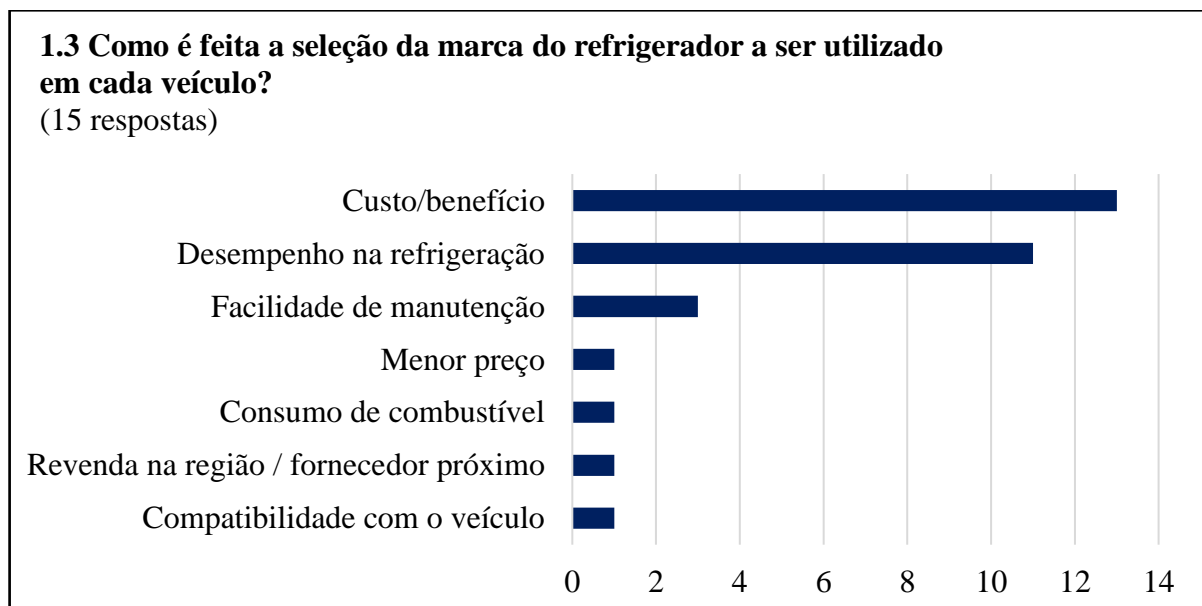
Figura 13 - Tipos de refrigeradores mais frequentes



Fonte: Autor.

A escolha destas marcas em especial a Thermo King se deve a uma busca por equipamentos que tem o melhor custo e benefício do mercado, bem como o melhor desempenho na refrigeração, como evidencia o gráfico da Figura 14.

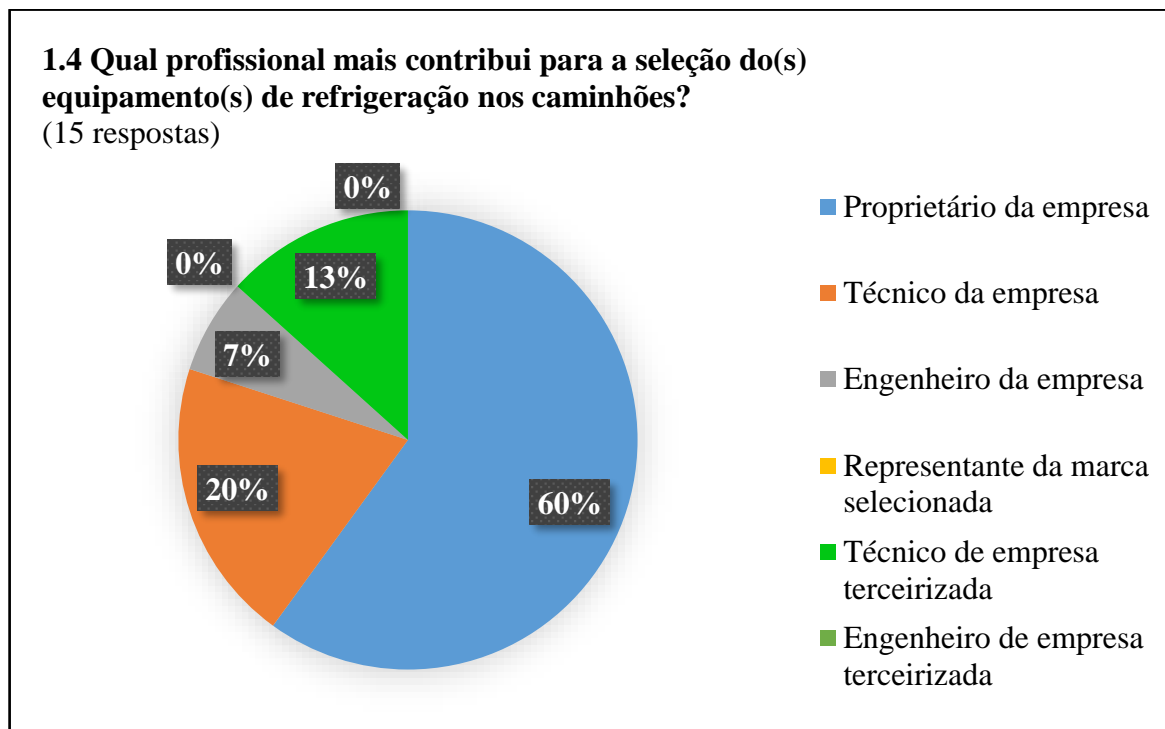
Figura 14 - Escolha dos equipamentos de refrigeração (questão de múltipla escolha)



Fonte: Autor.

A seleção destes equipamentos é feita geralmente pelo dono da empresa como mostra o gráfico da Figura 15 e em alguns casos por técnicos da área de refrigeração. Apenas uma empresa respondeu que utilizou um engenheiro para a escolha do equipamento.

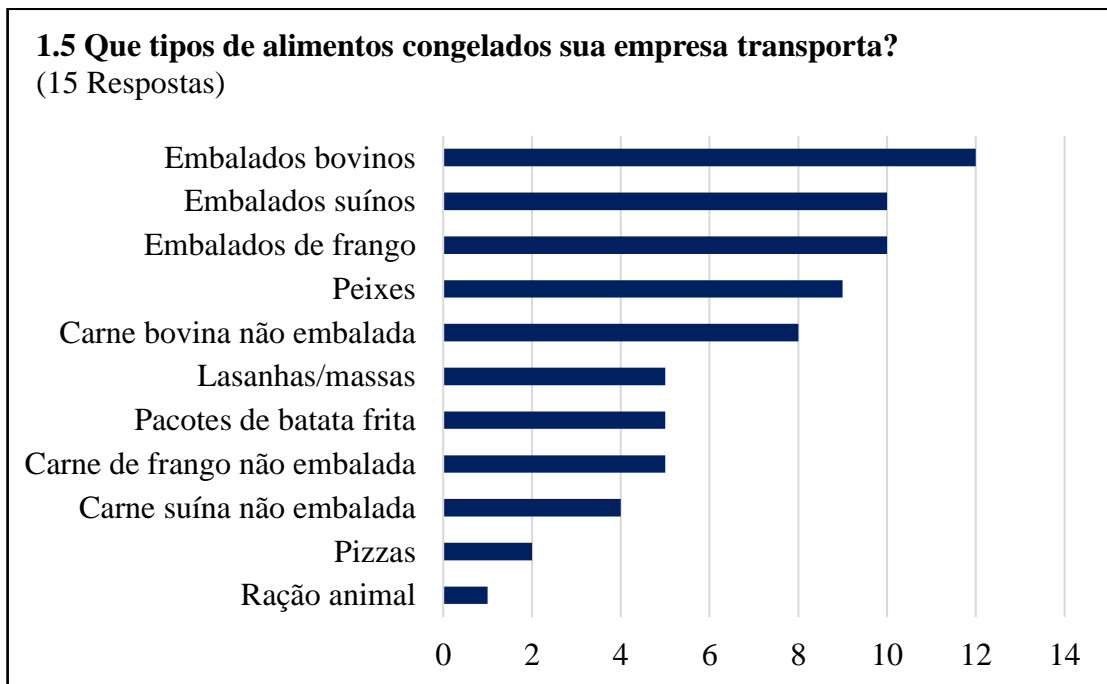
Figura 15 - Profissionais responsáveis pela seleção dos equipamentos



Fonte: Autor.

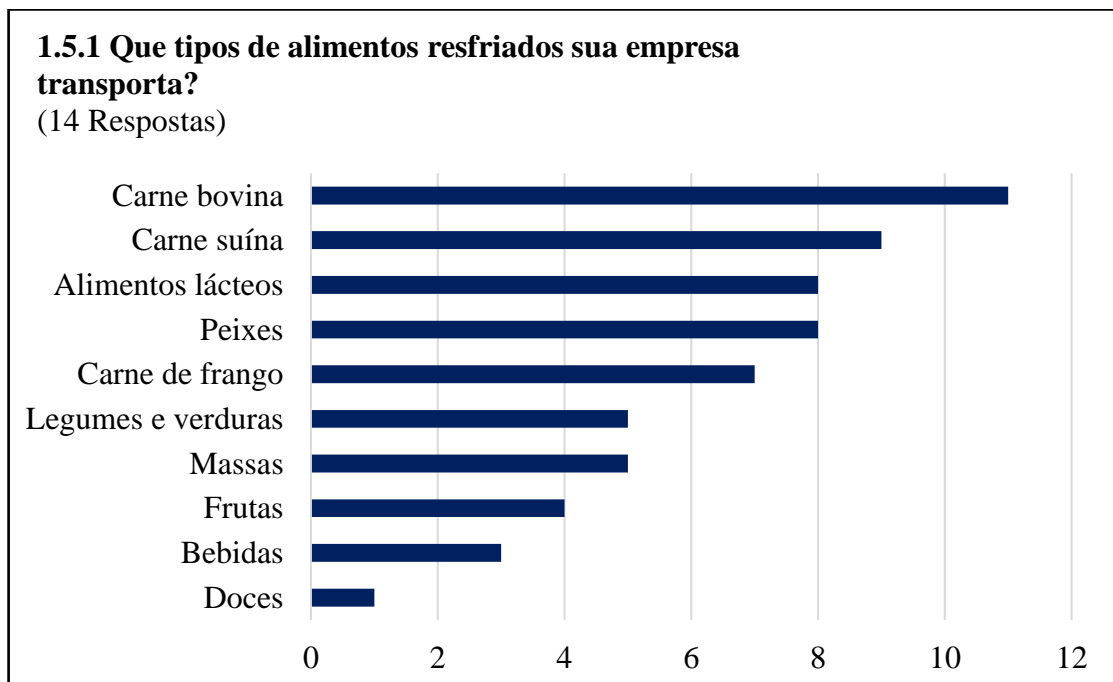
Em relação aos tipos de alimentos transportados, congelados e resfriados, é visível uma variedade grande de produtos que são transportados em uma mesma remessa, como mostram as Figura 16 e Figura 17.

Figura 16 - Tipos de produtos congelados transportados



Fonte: Autor.

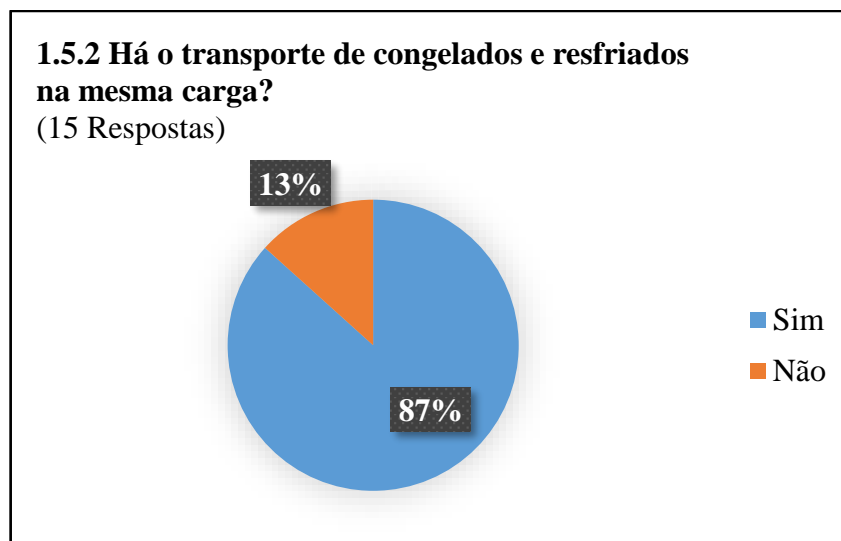
Figura 17 - Tipos de produtos resfriados transportados



Fonte: Autor.

Além da grande variedade de alimentos transportados, é evidenciado que a maioria das empresas faz o transporte de ambos os tipos de produtos em uma mesma remessa, como visto no gráfico da Figura 18.

Figura 18 - Prevalência de transporte congelado e resfriado

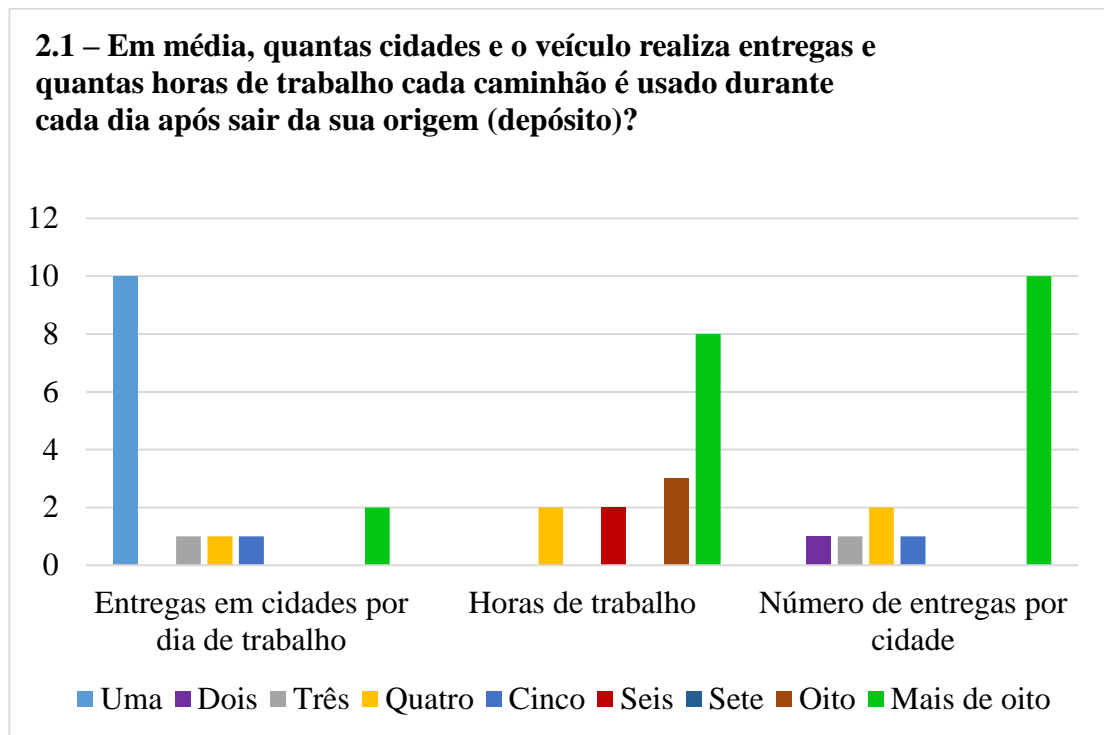


Fonte: Autor.

4.1.2 Informações de logística das empresas

Nesta parte do questionário, foram abordadas questões da logística no transporte e na remessa dos produtos e foi possível analisar uma tendência na quantidade de cidades que a empresa realiza remessas em um dia bem como as horas trabalhadas e a quantidade de entregas feitas no mesmo dia, representadas pelo gráfico da Figura 19.

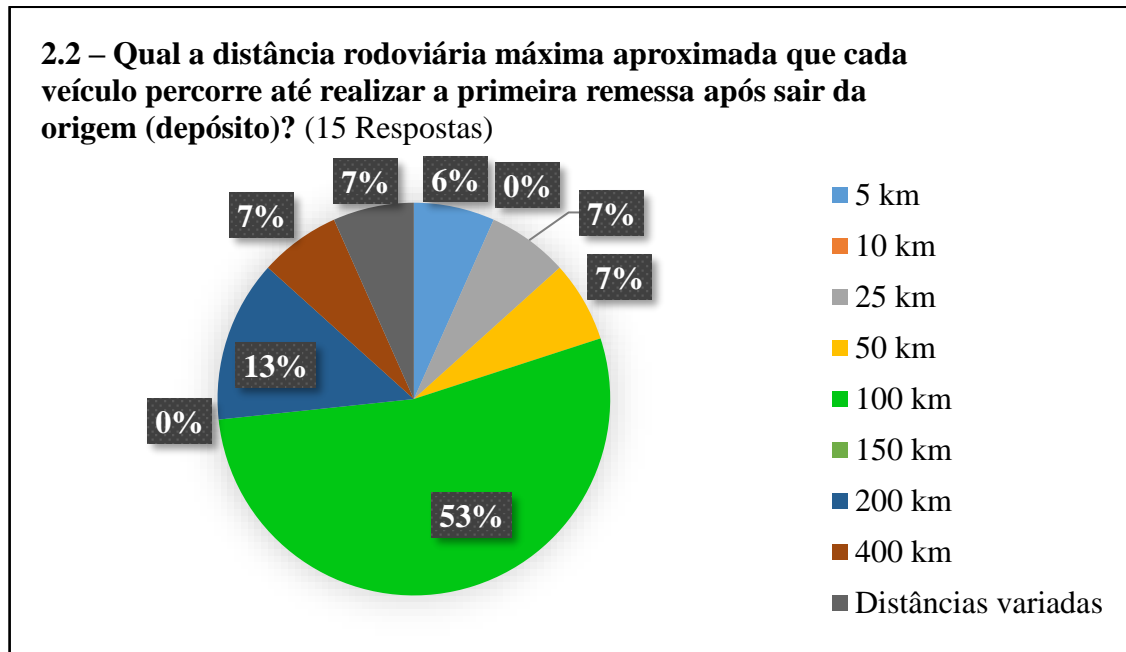
Figura 19 - Logística por dia de trabalho



Fonte: Autor.

Outro fator importante da logística das empresas é a distância rodoviária percorrida pelo caminhão até sua cidade de destino. De acordo com o gráfico da Figura 20, a distância média de 100 km é a mais comum, o que pode estar associado a maioria das empresas realizarem remessas em apenas uma cidade por dia de trabalho.

Figura 20 - Distância rodoviária média percorrida



Fonte: Autor.

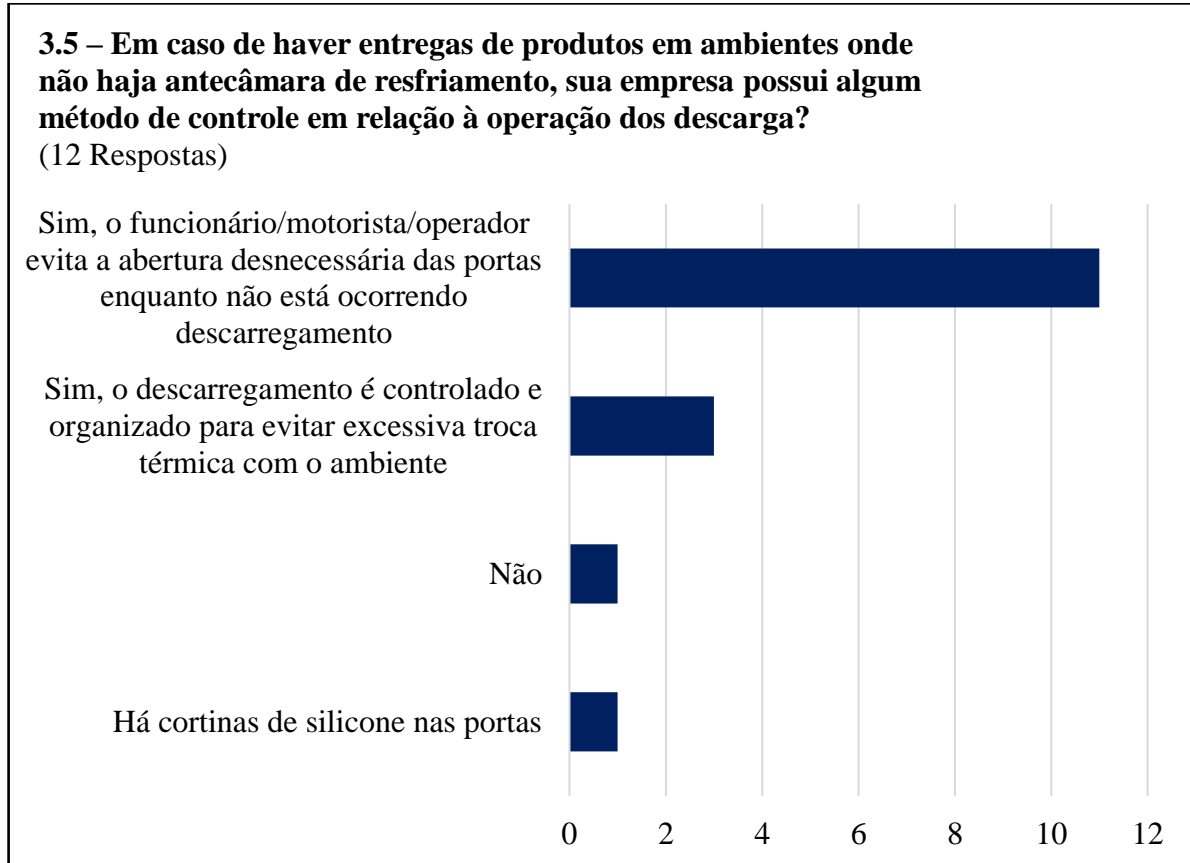
4.1.3 Controle de remessa

Em relação ao controle operacional no carregamento dos caminhões, todas as empresas afirmaram realizar o procedimento através de uma antecâmara de carregamento. geralmente, a antecâmara permanece em temperatura de 10°C e, em média, cada caminhão é carregado em 30 minutos com a disposição de produtos pesados em baixo e produtos mais leves sobre eles, levando em consideração a programação e o itinerário que será realizado para a remessa. Com relação às temperaturas de transporte, para produtos congelados, a média é de -10°C e, para produtos resfriados, a média é de 0°C. Porém, nenhuma empresa possui um refrigerador para cada câmara, apenas uma porta feita de material isolante para dividir as remessas da maneira que os itens congelados ficam na parte da frente do baú, no mesmo compartimento onde se encontra o evaporador e a porta lateral, e os produtos resfriados ficam na parte de traz com acesso pela porta traseira.

Apenas três empresas afirmaram ter controle da temperatura de cada baú através de um dispositivo de captação de dados. Dentre elas, apenas uma dispunha de um rastreador via satélite que atualizava os dados em tempo real. Com relação ao controle na hora do descarregamento da remessa em cada local, foi majoritária a resposta de que, caso não houvesse uma antecâmara para realizar o procedimento, o funcionário responsável evita

aberturas desnecessárias das portas, como mostra a Figura 21. Porém, apenas uma empresa, dentre as 12 que responderam esta pergunta, afirmou ter cortinas de silicone nas portas.

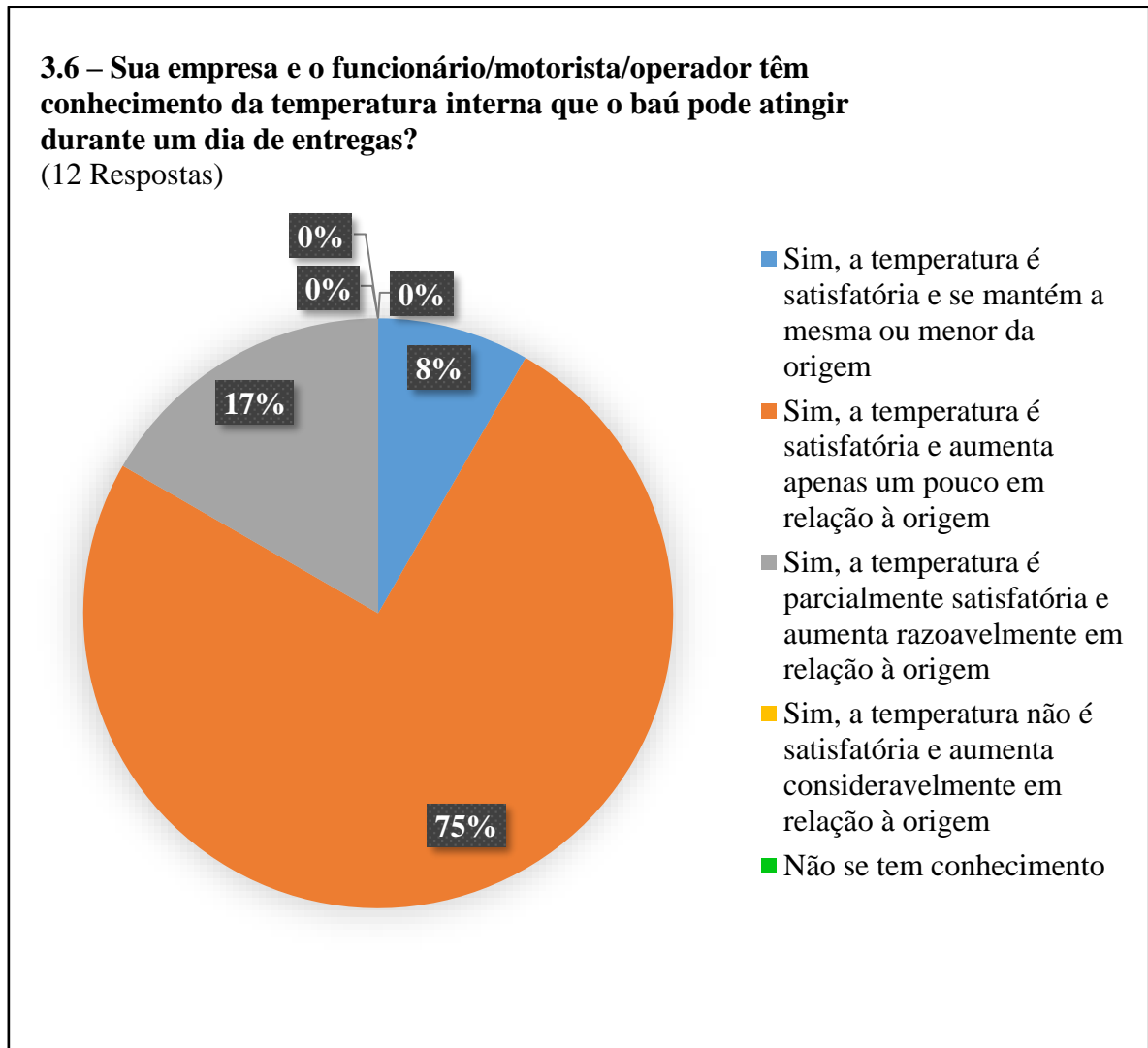
Figura 21 - Controle na descarga de remessa



Fonte: Autor.

Quando se perguntou se a empresa e os funcionários que participam do procedimento de logística têm conhecimento das temperaturas que podem ser atingidas internamente no baú, 75% das respostas afirmaram ter conhecimento e afirmam que a temperatura é satisfatória e aumenta pouco em relação à origem, como mostra o gráfico da Figura 22.

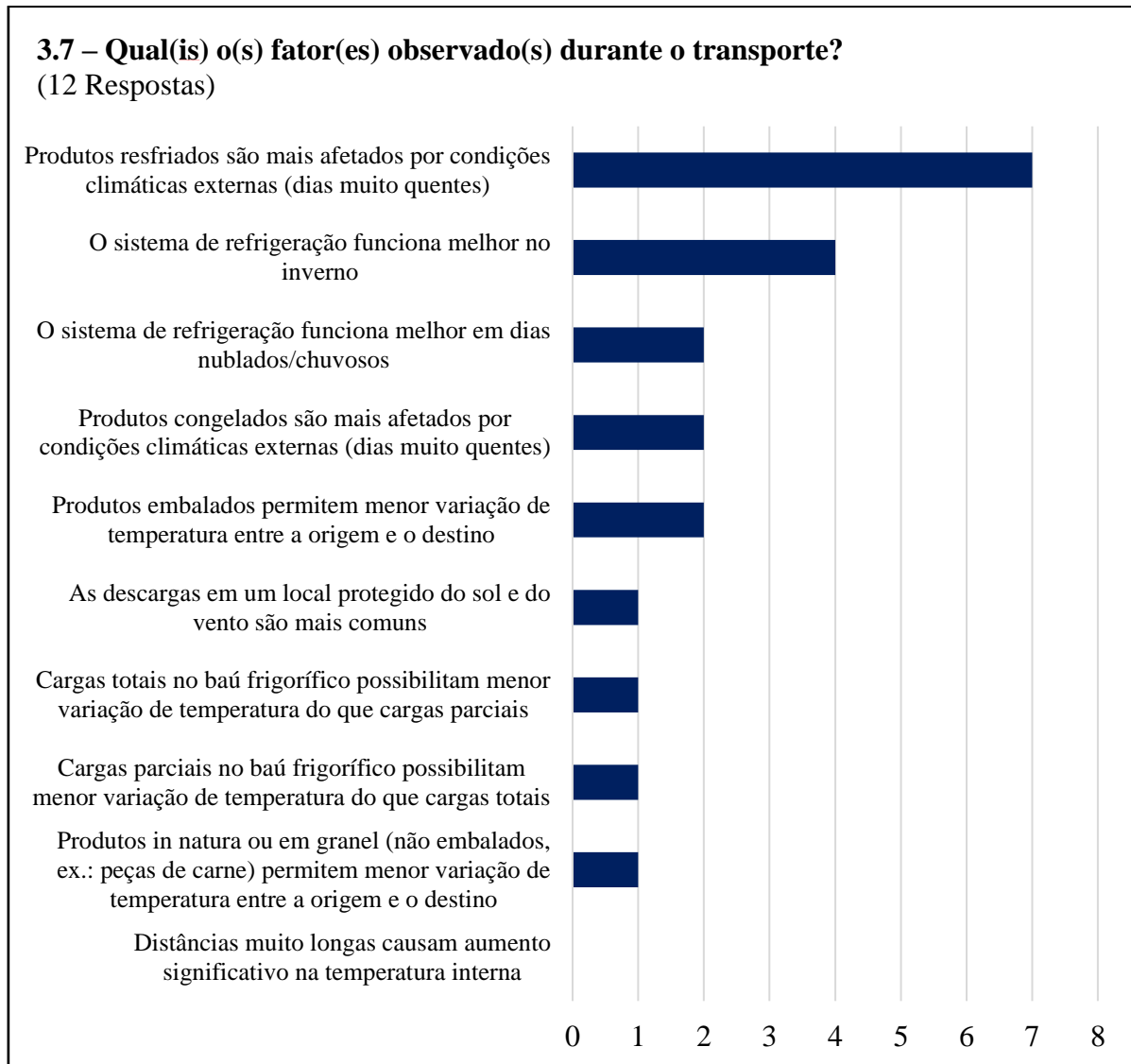
Figura 22 - Conhecimento da temperatura interna do baú



Fonte: Autor.

Com relação aos fatores observados durante o transporte, quatro respostas foram mais frequentes: 1) em dias ensolarados e muito quentes, o sistema de refrigeração não consegue manter a temperatura adequada; 2) a abertura de portas causa aumento significativo na temperatura interna; 3) produtos resfriados são mais afetados por condições climáticas externas; 4) as descargas em um local protegido do sol e do vento são menos comuns. A última resposta ressalta que, no geral, as condições de descarga de remessa não são ideais como ressalta a revisão bibliográfica. As respostas podem ser visualizadas no gráfico da Figura 23.

Figura 23 - Fatores observados no transporte



Fonte: Autor.

Através da análise das respostas obtidas no questionário, a resposta que mais gerou dúvidas foi a pergunta 3.6, onde a maioria das empresas afirmam que a temperatura no interior do baú é satisfatória durante as operações de entregas, o que diverge da revisão bibliográfica, que afirma que essas operações são críticas no transporte refrigerado. Através dessa divergência, foi direcionada a pesquisa de campo, para averiguar se as temperaturas são realmente satisfatórias ou, caso contrário, avaliar de que forma o equipamento refrigerador responde a altas cargas de troca de calor.

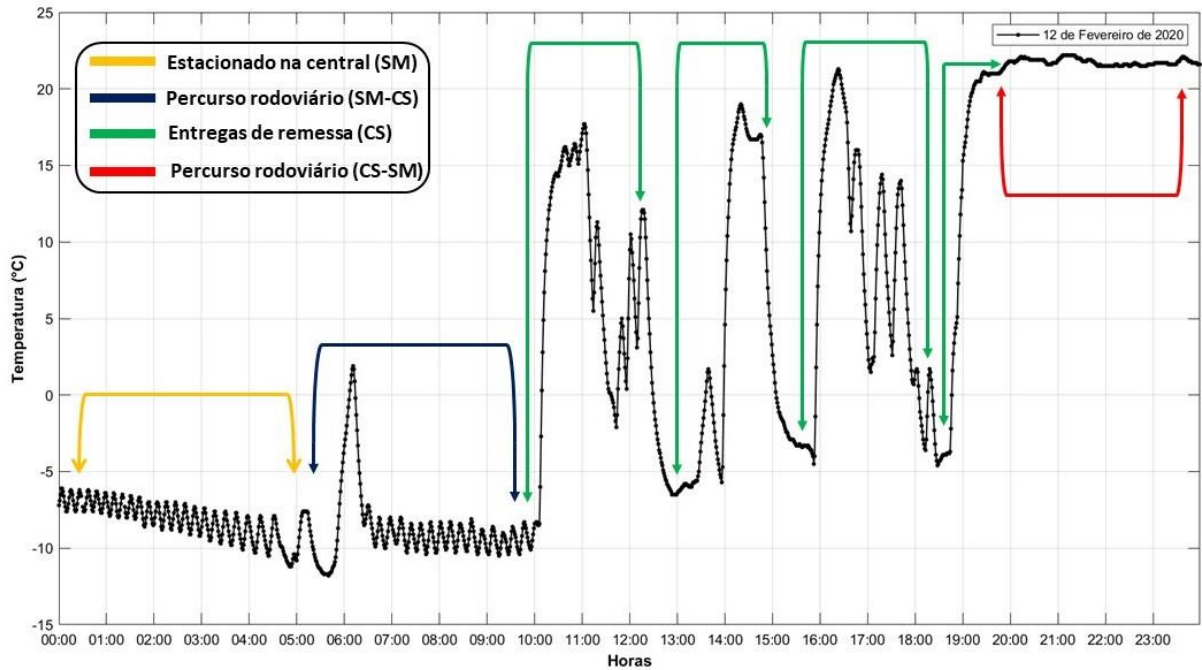
4.2 ANÁLISE E PROCESSAMENTO DOS DADOS OBTIDOS NA PESQUISA DE CAMPO

A coleta de dados foi realizada nos meses de fevereiro e março de 2020, sendo que neste período foram registradas temperaturas máximas superiores a 30°C. De acordo com as respostas do questionário, o período de verão é mais crítico para o procedimento de transporte frigorífico.

Analisando o gráfico da Figura 24 referente à remessa do dia 12 de fevereiro, é possível destacar as peculiaridades de cada período. De acordo com o proprietário da empresa onde o estudo foi realizado, o caminhão sempre é carregado no dia anterior ao dia de trabalho, desta maneira todos os gráficos iniciam a 00:00 de cada quarta-feira e sempre partem da empresa as 05:00. Neste período de 5h, o baú permanece ligado eletricamente no pátio da empresa. Desta forma, o gráfico permanece constante na faixa de -5°C a -10°C. No período das 05:00 às 10:00, o veículo está em operação de viagem, o que pode ser visualizado pela pequena alteração do gráfico.

Em relação ao pico de 0°C às 06:00, o operador do caminhão parou em um posto para verificar a carga. A partir das 10:00 inicia o período de entrega de remessas do dia, sendo que este horário de início pode variar dependendo da logística do local de entrega. Neste ponto é possível visualizar o pico de temperatura dentro do baú, que chega atingir 17°C. Durante a descarga, a temperatura varia constantemente em níveis sempre superiores à -5°C com prevalência na faixa de 15°C na primeira hora. Durante o período das 12:00 às 13:00 a temperatura é retomada aproximadamente à 7°C. Porém, é importante ressaltar que, como visto na revisão bibliográfica, os equipamentos refrigeradores acoplados em baú frigoríficos não possuem a capacidade de congelar produtos, apenas de manter a temperatura. No decorrer do dia de trabalho até às 20:00, as respectivas entregas mantêm o padrão de variação de temperatura da primeira, com considerável aumento da amplitude térmica. Este efeito é também previsto na revisão bibliográfica. Ao final do percurso, o equipamento refrigerador é desligado e o baú tende a assumir a temperatura ambiente.

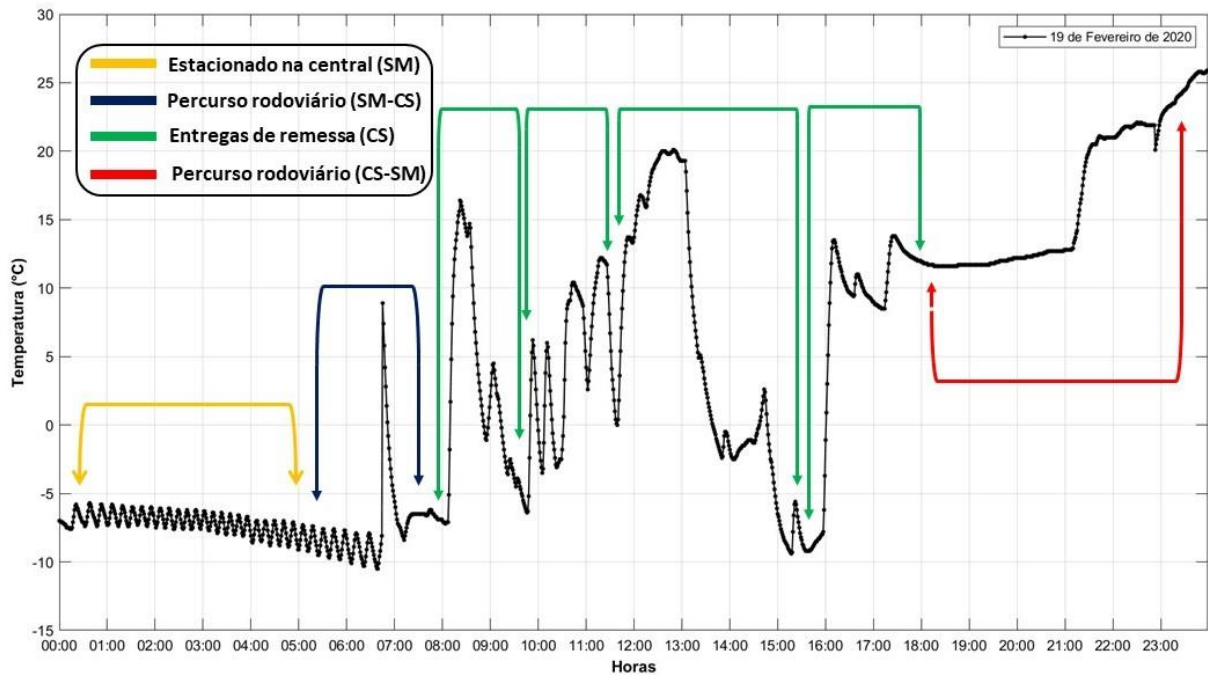
Figura 24 - Dia 12 de fevereiro de 2020 (sensor na parede frontal do baú)



Fonte: Autor.

Na remessa do dia 19 de fevereiro (Figura 25), o mesmo padrão da semana anterior foi repetido. Porém, algumas peculiaridades ficam mais acentuadas. Primeiramente, na checagem de carga das 07:00 ocorre um pico de 10°C, o que indica um período maior de abertura desnecessária da porta do baú, causando um efeito cumulativo precoce que é controlado na terceira entrega chegando a -10°C próximo as 16:00. Entretanto, a este ponto é previsto que ao menos 70% dos produtos já haviam sido descarregados, o que facilita a retomada da temperatura inicial. A partir das 18:00 a temperatura não se elevou tanto quanto na semana anterior. Isso se deve a não abertura da entrada de ar para desumidificação na parte superior do baú. Esta abertura ocorre próximo as 22:00, quando o caminhão já se encontrava no pátio da empresa.

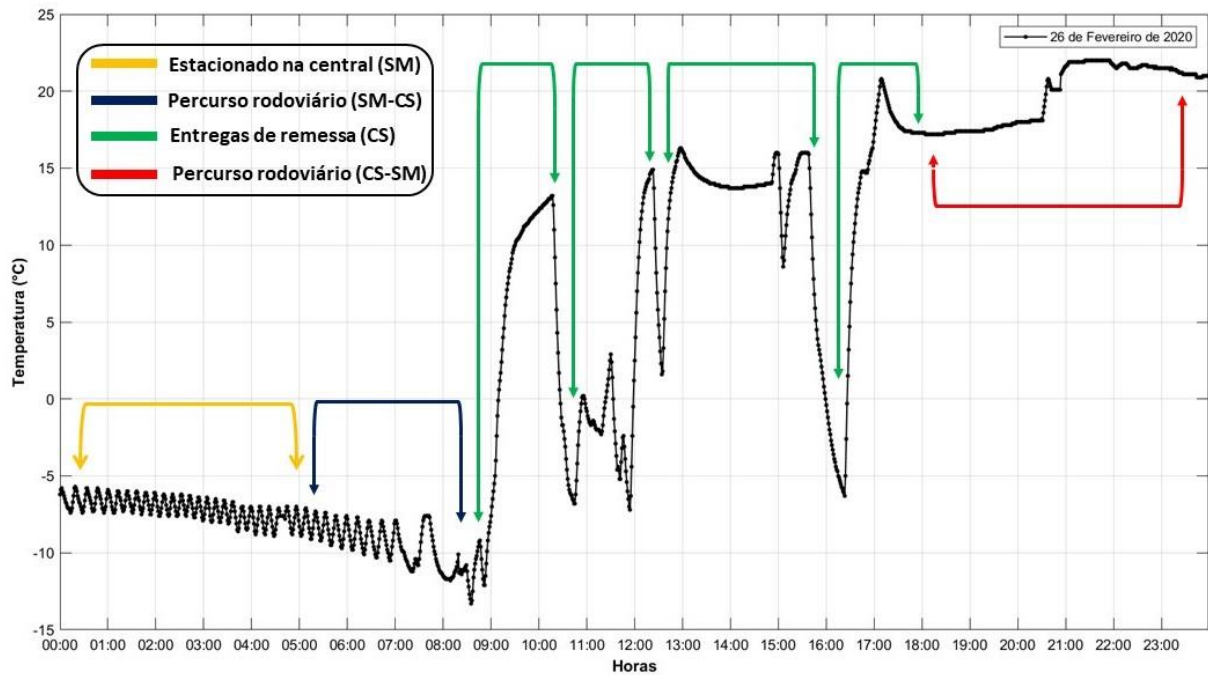
Figura 25 - Dia 19 de fevereiro de 2020 (sensor na parede esquerda do baú)



Fonte: Autor.

No gráfico da Figura 26, a principal diferença é no alongamento horizontal da curva durante o período de entregas, o que vai de encontro com a Tabela 2 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** No dia 26 de fevereiro, o data-logger foi posicionado na lateral direita do baú, próximo à porta de acesso. Desta forma, evidencia-se que este é o local em que mais perdura a alta da temperatura.

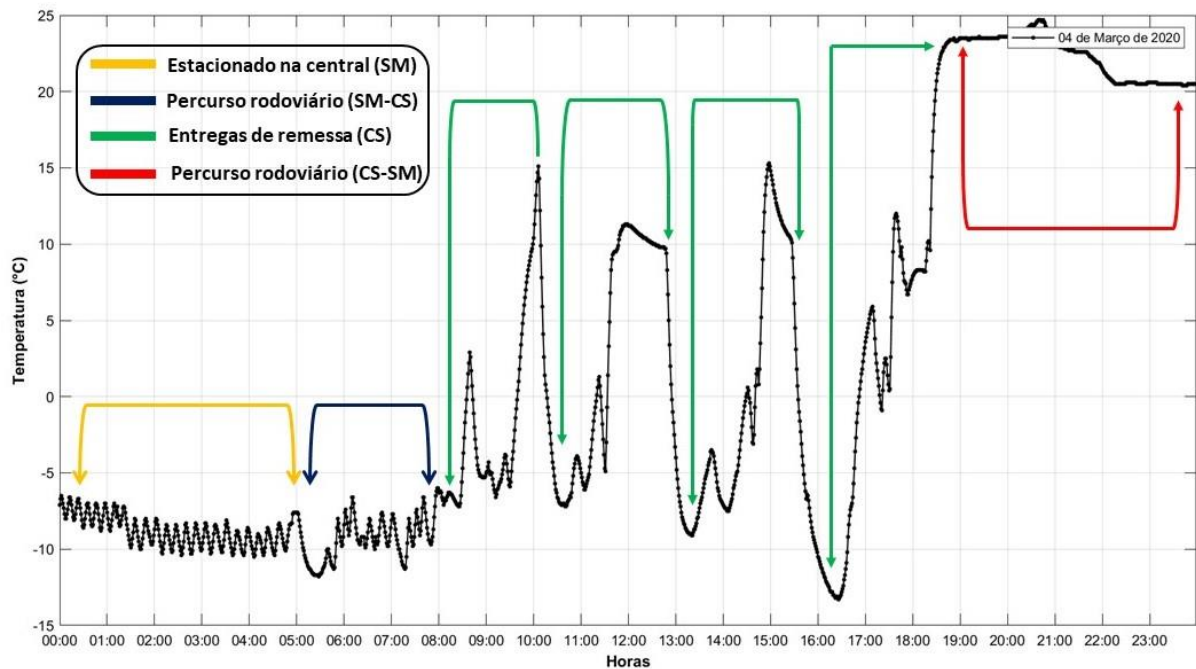
Figura 26 - Dia 26 de fevereiro de 2020 (sensor na parede direita do baú)



Fonte: Autor.

O mesmo padrão é repetido no gráfico da Figura 27. Porém, às 16h:00 ocorre um pico negativo de aproximadamente -14°C seguindo o comportamento da curva vista na Figura 27 para este período do dia. Embora o *setpoint* seja -10°C , o equipamento pode sofrer um atraso no desligamento devido o modo que opera durante o dia.

Figura 27 – Dia 04 de março de 2020 (sensor na parede traseira do baú)



Fonte: Autor.

Após a análise detalhada das curvas, foi possível concluir que o aumento de temperatura no baú não se dá pelo período de transporte, pois o fato do baú estar exposto ao sol e a correntes de vento durante o trajeto rodoviário produz influências térmicas desprezíveis se comparadas ao período de entrega de remessas, onde a abertura de portas em locais sem proteção gera picos muito superiores ao *setpoint*. Este acúmulo de temperatura possivelmente só afeta a superfície dos produtos, pois estes passam por uma inspeção de qualidade ao serem entregados.

Esta alta amplitude de temperatura, apesar de não apresentar visualmente problemas significativos aos produtos congelados, impõe sobre o refrigerador uma severa condição de trabalho, que por sua vez pode afetar diretamente a eficiência do equipamento. Uma possível solução parcial para evitar o aumento considerável de temperatura durante a entrega seria a utilização de cortinas de ar que fossem acionadas quando a abertura de portas ocorre, diminuindo o número de trocas de ar frio por ar quente.

5 CONCLUSÃO

Ao longo da revisão bibliográfica alguns pontos importantes a respeito do transporte refrigerado foram apontados, sendo questões como a situação crítica que o sistema opera principalmente em locais quentes e com grande infiltração de calor na câmara fria, a agenda de remessa intensa, a não capacidade do equipamento de congelar produtos possivelmente descongelados e problemas operacionais relativos às condições de descarga. A elaboração do questionário foi fundamental para se obter um panorama geral do transporte frigorífico da região, com perguntas nas áreas técnicas e de gerência das empresas, auxiliando na determinação dos pontos críticos do processo.

Com a coleta de campo, o principal problema identificado foi a infiltração de calor durante as entregas de remessa, gerando um efeito cumulativo do aumento da temperatura interna do baú, como visto na revisão bibliográfica. Porém, este ponto vai de encontro direto com a resposta da maioria das empresas participantes, que na pergunta 3.6 da Figura 22 alegaram que “Sim, a temperatura é satisfatória e aumenta apenas um pouco em relação à origem”, o que não foi constatado com a coleta espacial e temporal dos perfis de temperatura.

Este contraste se deve possivelmente à premissa de que os produtos não são atingidos de forma significativa pelo aumento da temperatura, de tal maneira que eles sempre passam por uma inspeção visual de qualidade ao chegar no seu destino. Com isso, se o alimento é recebido sem ressalvas, o responsável da empresa de transporte atesta que a temperatura é satisfatória. Porém, talvez ele não leve em consideração o problema que pode ser gerado para o equipamento refrigerador, que com uma rotina de trabalho incessante durante o dia de entregas, em temperaturas de condensação superiores a 30°C durante o verão, com um COP naturalmente baixo, o consumo de energia do compressor tende a se tornar mais expressivo e a vida útil do equipamento tende a reduzir precocemente.

Embora o consumo de energia e a vida útil dos equipamentos não tenham sido avaliados no presente trabalho, o proprietário da empresa onde foram coletados os dados de campo afirmou que a frequência com que os refrigeradores param de funcionar ou apresentam problemas é alta, gerando altos custos de manutenção.

Para futuros trabalhos propõem-se, então, que sejam avaliados: 1) o consumo de energia do compressor; 2) a periodicidade com que os equipamentos recebem manutenção; 3) os principais defeitos encontrados; 4) a relação do trabalho intenso e a vida útil do equipamento; e 5) o efeito do incremento de temperatura sobre a qualidade físico-química e microbiológica dos produtos.

REFERÊNCIAS

- BERGMAN, F. P. et al. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 7. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2014. 1048 p. Tradução de: Ferando Luiz Pellegrini Pessoa e Eduardo Mach Queiroz.
- BRUCE-WALLACE, L. G. Harrison, James (1816 – 1893). Australian Dictionary of Biography, **Australian National University**. Melbourne, 1966. Disponível em: <<http://adb.anu.edu.au/biography/harrison-james-2165>>. Acesso em: 14 maio 2019.
- CARRIER. **Especificações Vector Series: Smarter Thinking**. Atenas: Carrier Corporation, 2016. Disponível em: <<https://www.carrier.com/truck-trailer/pt/br/products/br-truck-trailer/equipamentos-de-trailer-de-mono-temperatura/vector-8500/>>. Acesso em: 18 maio 2019.
- ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. **Termodinâmica**. 7. ed. Porto Alegre: Amgh, 2013. 973 p. Tradução de: Paulo Maurício Costa Gomes.
- ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Transferência de Calor e Massa: Uma abordagem prática**. 4. ed. Porto Alegre: Amgh, 2012. 891 p. Tradução de: Fátima A. M. Lino.
- COSTA, Ê. C. **Refrigeração**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1982. 322 p.
- DINÇER, I.; KANOGLU, M. **Refrigeration Systems and Applications**. 2. ed. Chichester: Wiley, 2010. 464 p.
- DOSSAT, R. J. **Principles of Refrigeration**. Nova Iorque: Wiley, 1961. 544 p.
- FREIGHT BEST PRACTICE. Department for Transport. **Buyers' Guide to Refrigerated Transport Equipment**. Londres: Queens, 2007. Disponível em: <<http://www.northeastfreightpartnership.info/bestpractice/Publications/Equipment%20and%20Systems/Buyers%20Guide%20To%20Refrigerated%20Transport.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2019.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Gráficos Climatológicos**. Brasília, DF, janeiro de 1990. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos>>. Acesso em: 24 jun. 2019.
- INSTRUTHERM. **Especificações data-logger modelo HT-810**. São Paulo: Instrutherm, 2015. Disponível em: https://www.instrutherm.net.br/dataloger-mod-ht-810-temperatura-usb.html#product_tabs_especificacoes>. Acesso em: 04 março 2020.
- MILLER, R.; MILLER, M. R. **Ar-condicionado e Refrigeração**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2014. 586 p. Tradução de: Alberto Hernandez Neto, Arlindo Tribess e Flávio Augusto Sanzovo Fiorelli.
- MORAN, M. J. et al. **Princípios de Termodinâmica para Engenharia**. 7. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2013. Tradução de: Gisele Maria Ribeiro Vieira, Paulo Pedro Kenedi e Fernando Ribeiro da Silva.
- PEREIRA, V. F. et al. Avaliação de temperaturas em câmaras frigoríficas de transporte urbano de alimentos resfriados e congelados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 1, p.158-165, mar. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-20612010000100024>. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0101-20612010000100024&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 13 abr. 2019.

RAI, A.; SUN, J.; TASSOU, S. A. Numerical investigation of the protective mechanisms of air curtain in a refrigerated truck during door openings. **Energy Procedia**, Uxbridge, v. 161, n. 17-19, p.216-223, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.084>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610219311646>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

RAI, A.; TASSOU, S. A. Energy demand and environmental impacts of alternative food transport refrigeration systems. **Energy Procedia**, Berkshire, v. 123, p.113-120, set. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.267>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217328412>>. Acesso em: 12 abr. 2019.

SEABURG, C.; PATERSON, STANLEY. Frederic Tudor, the Ice King. **Harvard Business School**. Boston, 9 de jan., 2003. Disponível em: <<https://hbswk.hbs.edu/archive/frederic-tudor-the-ice-king>>. Acesso em: 26 maio 2019.

SILVA, M. N. **Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005. 316 p.

STOECKER, W. F.; JABARDO, J. M. S. **Refrigeração Industrial**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002. 371 p.

TASSOU, S. A.; DE-LILLE, G.; GE, Y. T. Food transport refrigeration – Approaches to reduce energy consumption and environmental impacts of road transport. **Applied Thermal Engineering**, Uxbridge, v. 29, n. 8-9, p.1467-1477, jun. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2008.06.027>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S135943110800286X>>. Acesso em: 12 abr. 2019.

TASSOU, S. A.; DE-LILLE, G.; LEWIS, J. Food Transport Refrigeration. **Applied Thermal Engineering**. Uxbridge, maio de 2012. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/b0e4/2f2d48cb79cebeaf04ba2744335f5f78b0ab.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

THERMO KING. **Especificações T-880R**. Araucária: Ingersoll Rand, 2017. Disponível em: <<https://www.thermoking.com.br/latin-america/br/pt/br-produtos/diesel-truck/linha-t80.html>>. Acesso em: 18 maio 2019.

THERMO KING. **Especificações T-600R**. Araucária: Ingersoll Rand, 2018. Disponível em: <<https://www.thermoking.com.br/latin-america/br/pt/br-produtos/diesel-truck/T600R.html>>. Acesso em: 04 março 2020.

THOMPSON, J. F.; BRECHT, P. E.; HINSCH, T. **Refrigerated Trailer Transport of Perishable Products**. Oakland: Anr, 2002.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DESTINADO A EMPRESAS – 1ª PÁGINA



Ministério da Educação
Universidade Federal de Santa Maria
Campus Cachoeira do Sul

Curso de Graduação em Engenharia Mecânica

Questionário

Dados da pesquisa:

Nome estudante: Marco Antônio Guterres de Oliveira

Nome orientador: Prof. Giovani Leone Zabot

Disciplina: CSEM4049 – Trabalho de Conclusão de Curso I

Na condição de acadêmico do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) Campus Cachoeira do Sul, eu, Marco Antônio Guterres de Oliveira, elaborei este questionário, o qual foi aprovado pelo meu orientador. Este questionário visa coletar informações relevantes para o desenvolvimento do trabalho de conclusão de curso I. O anteprojeto trata da avaliação da influência da temperatura, de condições climáticas e da remessa no transporte de produtos congelados e resfriados em um caminhão frigorífico. Para fins de conhecimento, o anteprojeto do trabalho encontra-se no Anexo 1.

As informações solicitadas neste questionário são deveras importantes na elaboração do meu trabalho de conclusão de curso I, uma vez que irão fundamentar as motivações e irão complementar os objetivos. No questionário são listadas questões de coletas de informações gerais, com foco em informações no transporte de produtos refrigerados/congelados entre cidades (desde o ponto de origem até o local de destino).

Salienta-se que nenhuma questão exige obrigatoriedade de resposta e poderá ser deixada em branco sempre que achar necessário. No entanto, é muito importante para mim que todas as questões sejam respondidas. Este questionário é puramente acadêmico e não tem fins de expor a imagem da empresa. Desta forma, as informações da empresa como nome, local, etc., não serão divulgadas. Serão utilizados códigos para referenciar as empresas ao longo do documento, como exemplo: Empresa A, empresa B, empresa C, ... etc. Tudo que pode fazer menção à empresa, como rota, tipos de produtos transportados, etc., poderá ser codificado para manter o anonimato e garantir o sigilo de dados da empresa.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DESTINADO A EMPRESAS – 2ª PÁGINA



Ministério da Educação
Universidade Federal de Santa Maria
Campus Cachoeira do Sul

Curso de Graduação em Engenharia Mecânica

Ao fim do trabalho de conclusão do curso, será enviado um relatório com um *feedback* para as empresas participantes com os dados coletados. Desde já agradeço imensamente pela sua disponibilidade em participar do questionário.

Questionário 1 – Informações gerais

Nome da empresa: _____

1.1 A empresa possui quais e quantos tipos de caminhões frigoríficos?

Não considerar veículos articulados.

- Caminhão tipo 4x2, Quantos? _____
- Caminhão tipo 6x2, Quantos? _____
- Caminhão tipo 6x4, Quantos? _____
- Caminhão tipo 8x2, Quantos? _____
- Caminhão tipo 8x4, Quantos? _____

Informações adicionais:

1.2 Qual(is) a(s) marca(s) e potência(s) dos sistemas de refrigeração utilizados nos caminhões?

- | | | |
|---------------------------------------|----------------|---------------------|
| <input type="checkbox"/> Thermo Klima | Quantos? _____ | Potência (W): _____ |
| <input type="checkbox"/> Thermo King | Quantos? _____ | Potência (W): _____ |
| <input type="checkbox"/> Rodofrio | Quantos? _____ | Potência (W): _____ |
| <input type="checkbox"/> Carrier | Quantos? _____ | Potência (W): _____ |
| <input type="checkbox"/> Patagônia | Quantos? _____ | Potência (W): _____ |
| <input type="checkbox"/> Outros | | |
| _____ | Quantos? _____ | Potência (W): _____ |
| _____ | Quantos? _____ | Potência (W): _____ |

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DESTINADO A EMPRESAS – 3ª PÁGINA

Ministério da Educação
Universidade Federal de Santa Maria
Campus Cachoeira do Sul

Curso de Graduação em Engenharia Mecânica

1.3 Como é feita a seleção da marca do refrigerador a ser utilizado em cada veículo?

Poderá ser marcada mais de uma opção.

- Menor preço Custo/benefício Facilidade de manutenção Desempenho na refrigeração Consumo de combustível Revenda na região / fornecedor próximo
 Compatibilidade com o veículo
-

1.4 Qual profissional mais contribui para a seleção do(s) equipamento(s) de refrigeração nos caminhões?

- Proprietário da empresa Representante da marca selecionada
 Técnico da empresa Técnico de empresa terceirizada
 Engenheiro da empresa Engenheiro de empresa terceirizada
 Outro: _____

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DESTINADO A EMPRESAS – 4ª PÁGINA



Ministério da Educação
Universidade Federal de Santa Maria
Campus Cachoeira do Sul

Curso de Graduação em Engenharia Mecânica

1.5 Que tipos de alimentos sua empresa transporta?

Poderá ser marcada mais de uma opção.

Congelados	Resfriados
<input type="checkbox"/> Carne bovina não embalada	<input type="checkbox"/> Carne bovina
<input type="checkbox"/> Embalados bovinos	<input type="checkbox"/> Carne suína
<input type="checkbox"/> Carne suína não embalada	<input type="checkbox"/> Carne de frango
<input type="checkbox"/> Embalados suínos	<input type="checkbox"/> Alimentos lácteos
<input type="checkbox"/> Carne de frango não embalada	<input type="checkbox"/> Peixes
<input type="checkbox"/> Embalados de frango	<input type="checkbox"/> Legumes e verduras
<input type="checkbox"/> Peixes	<input type="checkbox"/> Frutas
<input type="checkbox"/> Pacotes de batata frita	<input type="checkbox"/> Massas
<input type="checkbox"/> Lasanhas/massas	<input type="checkbox"/> Bebidas
<input type="checkbox"/> Pizzas	<input type="checkbox"/> Doces
<input type="checkbox"/> Sorvetes, picolés e afins	<input type="checkbox"/> Outros, Quais?
<input type="checkbox"/> Outros, Quais?	<hr/>

Há o transporte de congelados e resfriados na mesma carga? Sim Não

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DESTINADO A EMPRESAS – 5ª PÁGINA



Ministério da Educação
Universidade Federal de Santa Maria
Campus Cachoeira do Sul

Curso de Graduação em Engenharia Mecânica

Questionário 2 – Dados do transporte

Nesta área do questionário, as perguntas são direcionadas para os modelos de caminhões 6x2, pois o foco do trabalho em questão irá envolver este tipo de veículo.

Se sua empresa não possui veículos desta configuração, deixe este questionário em branco.

2.1 – Em média, quantas cidades o veículo realiza entregas de produtos em um dia de trabalho?

- Uma cidade Duas cidades Três cidades Quatro cidades
 Mais de quatro cidades. Quantas?

2.1.1 – Em média, quantas horas de trabalho cada caminhão é usado durante cada dia após sair da sua origem (depósito)?

- 1 h 2 h 3 h 4 h 5 h 6 h 7 h 8 h Mais de 8 h

2.2 – Qual a distância rodoviária máxima aproximada que cada veículo percorre até realizar a primeira remessa após sair da origem (depósito)?

- 10 km 25 km 50 km 100km 150km 200 km
 Mais de 200 km. Em média, quantos?

2.3 – Com relação às entregas, em média, quantas são realizadas em cada cidade?

- Uma entrega Duas entregas Três entregas Quatro entregas
 Mais de quatro entregas. Quantas?

2.4 – O sistema de refrigeração é acionado pelo motor do caminhão?

- Sim
 Não. Qual tipo de acionamento (ex.: motor externo à gasolina)?

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DESTINADO A EMPRESAS – 6ª PÁGINA



Ministério da Educação
Universidade Federal de Santa Maria
Campus Cachoeira do Sul

Curso de Graduação em Engenharia Mecânica

Questionário 3 – Controle da remessa

Nesta área do questionário são feitas perguntas a respeito do método e do controle de carregamento e de entrega dos produtos.

Se sua empresa não possui veículos do tipo 6x2, deixe este questionário em branco.

3.1 – Qual a temperatura média da antecâmara de carregamento? Qual o tempo médio de carregamento?

Temperatura (°C): _____ Tempo (h): _____

3.2 – Em média, como é disposto o peso e o tipo dos produtos em cada caminhão?

Apenas congelados, em kg: Tipos de produtos: _____

Apenas resfriados, em kg: Tipos de produtos: _____

Compartimentos de resfriados e congelados:

Peso de resfriados, em kg: Peso de congelados, em kg:

Tipos de produtos: _____ Tipos de produtos: _____

3.3 – Tipicamente, em quais faixas de temperaturas os produtos são transportados?

Congelados na origem, em °C: Congelados no destino, em °C:

Resfriados na origem, em °C: Resfriados no destino, em °C:

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DESTINADO A EMPRESAS – 7ª PÁGINA



Ministério da Educação
Universidade Federal de Santa Maria
Campus Cachoeira do Sul

Curso de Graduação em Engenharia Mecânica

3.4 - A empresa possui algum tipo de receptor externo de dados da temperatura e umidade no interior do baú durante o transporte?

- Sim, qual marca e modelo?
- Não
-

3.5 – Em caso de haver entregas de produtos em ambientes onde não haja antecâmara de resfriamento, sua empresa possui algum método de controle em relação à operação dos descarga?

Poderá ser marcada mais de uma opção.

- Sim, o funcionário/motorista/operador evita a abertura desnecessária das portas enquanto não está ocorrendo descarregamento
- Sim, o descarregamento é controlado e organizado para evitar excessiva troca térmica com o ambiente
- Sim, outro método (especificar):
- Não
-

3.6 – Sua empresa e o funcionário/motorista/operador têm conhecimento da temperatura interna que o baú pode atingir durante um dia de entregas?

- Sim, a temperatura é satisfatória e se mantém a mesma ou menor da origem
- Sim, a temperatura é satisfatória e aumenta apenas um pouco em relação à origem
- Sim, a temperatura é parcialmente satisfatória e aumenta razoavelmente em relação à origem
- Sim, a temperatura não é satisfatória e aumenta consideravelmente em relação à origem
- Não se tem conhecimento
- Não se sabe responder
-

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DESTINADO A EMPRESAS – 8ª PÁGINA

Ministério da Educação
Universidade Federal de Santa Maria
Campus Cachoeira do Sul

Curso de Graduação em Engenharia Mecânica**3.7 – Qual(is) o(s) fator(es) observado(s) durante o transporte?**

Poderá ser marcada mais de uma opção.

- Em dias ensolarados e muito quentes, o sistema de refrigeração não consegue manter a temperatura adequada
- A abertura de portas causa aumento significativo na temperatura interna
- Distâncias muito longas causam aumento significativo na temperatura interna
- O sistema de refrigeração funciona melhor no inverno
- O sistema de refrigeração funciona melhor em dias nublados/chuvosos
- Produtos congelados são mais afetados por condições climáticas externas (dias muito quentes)
- Produtos resfriados são mais afetados por condições climáticas externas (dias muito quentes)
- Produtos embalados permitem menor variação de temperatura entre a origem e o destino
- Produtos in natura ou em granel (não embalados, ex.: peças de carne) permitem menor variação de temperatura entre a origem e o destino
- Cargas parciais no baú frigorífico possibilitam menor variação de temperatura do que cargas totais
- Cargas totais no baú frigorífico possibilitam menor variação de temperatura do que cargas parciais
- As descargas em um local protegido do sol e do vento são mais comuns
- As descargas em um local protegido do sol e do vento são menos comuns

Data: ___ / ___ / ___

APÊNDICE B – ROTINA NO MATLAB

```

clear all
clc
close all
pasta='C:\Users\Nome\Desktop\Pasta\'; %Local do arquivo Excel
nomeArquivo='nome_arquivo'; %Nome do arquivo
planilha='01'; %Nome da planilha
Extensao='A1:B10'; %Local dos dados na planilha
DADOS=xlsread([pasta,nomeArquivo],planilha,Extensao);

figure(1)

x=1:length(DADOS(:,1));

%Plotagem do gráfico
plot(x,DADOS(:,2),'-
ok','LineWidth',1,'MarkerSize',2,'MarkerFaceColor','k','MarkerEdgeColor','k
')
grid on

%Legenda
hleg1 = legend('01 de janeiro de 2020','Location','NorthEast');

%Limite de 1440 minutos (24h)
xlim([1,1440])
xlabel('Horas','fontsize',16,'fontweight','b');
ylabel('Temperatura (°C)','fontsize',16,'fontweight','b');

    set(gca,'fontsize',10,'xtick',1:60:1440,...
        'xticklabel',{'00:00','01:00','02:00','03:00','04:00','05:00',...
        '06:00','07:00','08:00','09:00','10:00','11:00',...
        '12:00','13:00','14:00','15:00','16:00','17:00',...
        '18:00','19:00','20:00','21:00','22:00','23:00'})

whitebg('w')
colordef white
set(gcf,'color','w','Position',get(0,'Screensize'));

%Salva a imagem do gráfico na pasta designada
saveas(1,'gráfico_01','png')

```