



INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO

Campus Recife

Departamento Acadêmico de Cursos Superiores

Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica

LUZITANO HUGO COSTA SILVA DE PAULA

**ANÁLISE DE TANQUES ATMOSFÉRICOS HORIZONTAIS AÉREOS PARA  
ARMAZENAMENTO DE GASOLINA COMUM EM POSTOS DE ABASTECIMENTO  
NA REGIÃO METROPOLITANA DE RECIFE**

Recife, PE

2022

LUZITANO HUGO COSTA SILVA DE PAULA

**ANÁLISE DE TANQUES ATMOSFÉRICOS HORIZONTAIS AÉREOS PARA  
ARMAZENAMENTO DE GASOLINA COMUM EM POSTOS DE ABASTECIMENTO  
NA REGIÃO METROPOLITANA DE RECIFE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento Acadêmico de Cursos Superiores em Bacharelado em Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. José Ângelo Peixoto da Costa

Recife, PE

2022

Ficha elaborada pela bibliotecária Maria do Perpétuo Socorro Cavalcante Fernandes CRB4/1666

P324a  
2022

Paula, Luzitano Hugo Costa Silva de

Análise de tanques atmosféricos horizontais aéreos para armazenamento de gasolina comum em postos de abastecimento na região metropolitana de Recife./ Luzitano Hugo Costa Silva de Paula. --- Recife: os autores, 2022.  
84f. il. Color.

TCC (Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Mecânica) Instituto Federal de Pernambuco, Departamento Acadêmico de Cursos Superiores. - DACS, 2022.

Inclui referências e anexos.

Orientador: Prof. Dr. José Ângelo Peixoto da Costa.

1. Engenharia mecânica. 2. Análises experimentais. 3. Termodinâmica. 4. Umidade relativa do ar. 5. Tanques de armazenamento. 6. Combustível. I. Título. II. Costa, José Ângelo Peixoto da (orientador). III. Instituto Federal de Pernambuco.

CDD 620.1(21ed.)

**ANÁLISE DE TANQUES ATMOSFÉRICOS HORIZONTAIS AÉREOS PARA  
ARMAZENAMENTO DE GASOLINA COMUM EM POSTOS DE ABASTECIMENTO  
NA REGIÃO METROPOLITANA DE RECIFE**

Trabalho aprovado. Recife, 02 de fevereiro de 2022.

---

Prof. Dr. José Ângelo Peixoto da Costa - IFPE  
Professor Orientador

---

Prof. Dr. José Claudino de Lira Junior  
Examinador Externo

---

Prof. Dr. Alvaro Antonio Ochoa Villa  
Examinador Interno

Recife, PE  
2022

Dedico este trabalho aos meus pais Maria José Costa Silva de Paula e Pedro Valente de Paula que, mesmo em outro Estado, nunca deixaram de torcer, rezar por mim e a cada aprovação ficavam felizes após a minha frase: “passei raspando, mas passei”. Obrigado, meus pais amados!

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter sustentado-me até o presente momento.

Agradeço àquela senhora vendedora de enciclopédias que vendeu um livro para minha mãe onde descrevia a carreira de engenheiro mecânico. Após ler aquela descrição, surgiu o sonho de ser Bacharel em Engenharia Mecânica.

Agradeço ao meu pai, Pedro Valente de Paula, por ter ensinado-me o que sabia em mecânica automotiva, ter sido presente em todas etapas da minha vida, por ter sido o meu exemplo e sempre ter mantido-me forte.

Agradeço à minha querida mãe, Maria José Costa Silva de Paula, por sempre ter cuidado de mim, sempre torcer pelas minhas vitórias, mostrando-me que a vida não é um mar de flores e que o choro não muda em nada o seu problema, mas sim a sua atitude.

Agradeço aos meus amigos pela torcida e motivação.

Agradeço a Adierson, Renato, Alencar, Clênio, J.Silva, Daniel e G.Santos pela ajuda na implementação do experimento, comprometimento na coleta de dados e apoio na análise dos dados.

Agradeço a Carlos Augusto por ter ajudado-me a realizar o sonho de cursar bacharelado em Engenharia Mecânica em uma faculdade pública e incentivar o esclarecimento do problema deste trabalho.

Agradeço ao meu coordenador, Ângelo, por ter aceitado o desafio de tentar entender e desmistificar o problema que enfrentei quando fui encarregado de um setor de combustíveis e lubrificantes: a evaporação da gasolina. Obrigado, gigante, aquele “aceito” fez toda a diferença.

Agradeço a todos guerreiros que compuseram a primeira turma de Engenharia Mecânica do IFPE e ajudaram-me nesta trajetória acadêmica.

Agradeço a todos os professores pelo conteúdo ministrado.

Por fim, agradeço aos “tios e tias” da limpeza do bloco C, funcionários da biblioteca e equipe de segurança que sempre tiveram paciência comigo quando precisei estudar até mais tarde nas instalações do IFPE.

A todos digo: valeu a pena, vocês ajudaram a fazer a diferença na minha vida!

*“A vida não é medida pelo número de vezes  
que você respirou, mas pelos momentos em  
que você perdeu o fôlego. “*

*(Bob Marley)*

## RESUMO

Este trabalho é resultado de um estudo de análises experimentais que mediram a taxa de evaporação de gasolina comum tipo C em função da temperatura e umidade relativa do ar em postos de abastecimento para tanques de armazenamento atmosféricos horizontais aéreos na Região Metropolitana de Recife. Com o intuito de verificar as influências da umidade relativa do ar, da temperatura do ambiente em que o posto de abastecimento está inserido e da temperatura da parede do tanque atmosférico horizontal de maior incidência solar na taxa de evaporação, foi utilizado um termo-higrômetro digital. O experimento também contou com o auxílio de um termômetro analógico e de um sistema eletrônico de medição de volume para coletar a temperatura do combustível e identificar a quantidade de gasolina comum em tempo real, respectivamente. Os resultados mostraram que o aumento das temperaturas do combustível e da parede do tanque de maior incidência solar, a entrada de gasolina comum no tanque de abastecimento e os percentuais da umidade relativa do ar próximos a 50% podem afetar a taxa de evaporação da gasolina comum em índices superiores a 5% do consumo de combustível, ou seja, aproximadamente nove vezes a variação de estoque prevista na legislação brasileira. Diante disso, também foi realizada uma análise de custos das perdas potenciais do combustível e uma metodologia para diminuir erros no controle de combustíveis, pois, quando existem diferenças de volume entre estoque físico e o estoque contábil em tanques de armazenamento atmosféricos horizontais aéreos com gasolina, geram incertezas, desconfiança, indisponibilidade da frota, desconforto aos controladores, e, portanto, prejuízos ao setor financeiro.

**Palavras-chave:** Análises experimentais. Temperatura. Umidade relativa do ar. Tanques de armazenamento atmosféricos horizontais aéreos. Prejuízo. Combustível.



## ABSTRACT

This work is the result of a study of experimental analyzes that measured the evaporation rate of common type C gasoline as a function of temperature and relative humidity in gas stations for air horizontal atmospheric storage tanks in the Metropolitan Region of Recife. In order to verify the influences of the relative humidity of the air, the temperature of the environment in which the gas station is located and the wall temperature of the horizontal atmospheric tank with the highest solar incidence on the evaporation rate, a digital thermo-hygrometer was used. The experiment also had the aid of an analog thermometer and an electronic volume measurement system to collect the fuel temperature and identify the amount of common gasoline in real time, respectively. The results showed that the increase in fuel and tank wall temperatures with greater solar incidence, the entry of regular gasoline into the supply tank and the percentages of relative humidity close to 50% can affect the evaporation rate of regular gasoline. at rates higher than 5% of fuel consumption, that is, approximately nine times the variation in stock provided for in Brazilian legislation. In view of this, a cost analysis of potential fuel losses was also carried out and a methodology to reduce errors in fuel control was carried out, because when there are volume differences between physical inventory and book inventory in overhead horizontal atmospheric storage tanks with gasoline, generate uncertainties, mistrust, unavailability of the fleet, discomfort to controllers, and, therefore, losses to the financial sector.

**Keywords:** Experimental analyses. Temperature. Relative humidity. Aerial horizontal atmospheric storage tanks. Loss. Fuel.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura do consumo de derivados de petróleo no setor transportes brasileiro .....	16
Figura 2 - Relação da massa de gasolina evaporada em função do tempo no inverno .....	17
Figura 3 - Relação da massa de gasolina evaporada em função do tempo no verão .....	18
Figura 4 - Percentual médio por hora de volume evaporado em função da temperatura. Gasolina comum .....	19
Figura 5 - Sintetização de um posto de abastecimento .....	22
Figura 6 - Posto de abastecimento analisado .....	22
Figura 7 - <i>Layout</i> do módulo de abastecimento .....	23
Figura 8 - <i>Skid</i> de abastecimento sintetizado .....	24
Figura 9 - Válvula de respiro .....	25
Figura 10 - Sistema eletrônico de medição instalado .....	26
Figura 11 - Visor de nível e régua .....	27
Figura 12 - Sistema de aterramento em postos de abastecimento .....	28
Figura 13 - Taxa de evaporação da gasolina sob a perspectiva da velocidade de abastecimento do tanque de armazenamento .....	31
Figura 14 - Taxa de evaporação da gasolina sob a perspectiva da temperatura .....	32
Figura 15 - Descarregamento do caminhão-tanque em tanque atmosférico aéreo horizontal .....	34
Figura 16 - Disposição dos equipamentos .....	36
Figura 17 - Termômetro analógico .....	38
Figura 18 - Especificações do termo-higrômetro .....	38
Figura 19 - Termo-higrômetro digital .....	39
Figura 20 - Conjunto sistema medidor de volume eletrônico .....	40
Figura 21 - Procedimento da coleta e tratamento de dados .....	41
Figura 22 - Aferidor volumétrico para combustível .....	44
Figura 23 - Análise mensal da temperatura do ambiente .....	47
Figura 24 - Análise mensal da temperatura do ambiente no período matutino .....	48
Figura 25 - Análise mensal da temperatura do ambiente no período vespertino .....	49
Figura 26 - Análise mensal da temperatura da parede do tanque .....	50
Figura 27 - Análise mensal da temperatura da parede do tanque no período matutino .....	51
Figura 28 - Análise mensal da temperatura da parede do tanque no período vespertino .....	52
Figura 29 - Análise mensal da umidade relativa do ar .....	53
Figura 30 - Análise mensal da umidade relativa do ar no período matutino .....	54
Figura 31 - Análise mensal da umidade relativa do ar no período vespertino .....	55
Figura 32 - Análise mensal da temperatura do combustível .....	56
Figura 33 - Análise mensal da temperatura do combustível no período matutino .....	57
Figura 34 - Análise mensal da temperatura do combustível no período vespertino .....	58
Figura 35 - Comportamento das variáveis em relação aos meses analisados .....	59

<b>Figura 36 - Taxas de evaporação .....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 37 - Relação entre volume inicial e taxa de evaporação .....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 38 - Comportamento do <i>Itvi</i> no decorrer dos meses analisados .....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 39 - Previsão de perdas financeiras.....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 40 - Previsão das taxas de evaporação .....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 41 - Comportamento das temperaturas médias em relação à taxa de evaporação .....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 42 - Comportamento da umidade relativa do ar em relação à taxa de evaporação .....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 43 - Proposta para minimizar a diferença entre estoques .....</b>	<b>68</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 - Propriedades físicas e químicas da gasolina original comum C.....</b>	<b>29</b>
<b>Tabela 2 - Armazenamento de dados coletados.....</b>	<b>42</b>
<b>Tabela 3 - Desvios padrões e erros padrões das variáveis analisadas.....</b>	<b>44</b>
<b>Tabela 4 - Movimentações mensais de combustível.....</b>	<b>60</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis  
BEN - Balanço Energético Nacional  
CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo  
CFD - *Computational Fluid Dynamics*  
COMAER - Comando da Aeronáutica  
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente  
EPE - Empresa de Pesquisa Energética  
IFPE - Instituto Federal de Pernambuco  
FISQ - Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico  
INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia Qualidade e Tecnologia  
MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento  
MCA - Manual do Comando da Aeronáutica  
NBR - Norma Brasileira  
PA - Posto de Abastecimento  
SASC - Sistema de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis

## LISTA DE SÍMBOLOS

$P_{atm}$  - Pressão atmosférica

$P_v$  - Pressão parcial do vapor d'água

$P_a$  - Pressão parcial do ar seco

$P_g$  - Pressão de saturação do vapor d'água

$m_{entrada}$  - Massa que entra no volume de controle

$m_{saída}$  - Massa que sai no volume de controle

$\Delta m_{VC}$  - Variação da massa no volume de controle

$E_{entrada}$  - Energia que entra no volume de controle

$E_{saída}$  - Energia que sai no volume de controle

$\Delta E_{VC}$  - Variação de energia no volume de controle

$W_{ev}$  - Taxa média de evaporação da massa

$K_{ev}$  - Critério de evaporação

$M_n$  - Massa de combustível evaporada

$S$  - Superfície

$\tau$  - Período

$\bar{X}$  - Média aritmética

$N$  - Tamanho da amostra

$\sigma$  - Desvio padrão

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
1.1 Objetivo geral	20
1.2 Objetivos específicos	20
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>21</b>
2.1 Emissões fugitivas	21
2.2 Postos de abastecimentos	21
2.2.1 Módulo de abastecimento	23
2.2.1.1 Tanque de armazenamento atmosférico aéreo	23
2.2.1.2 <i>Skid</i> de abastecimento	24
2.2.1.3 Válvula de respiro	24
2.2.1.4 Sistema eletrônico de medição	25
2.2.1.5 Visor de nível	26
2.3 Sistema de aterramento	27
2.4 Gasolina comum	28
2.5 Emissões evaporativas	29
2.6 Limites de perdas no Brasil	32
2.7 Descarga de combustível em tanques atmosféricos aéreos horizontais	33
2.8 Emissões evaporativas em tanques sob armazenamento de longo prazo	34
<b>3 METODOLOGIA</b>	<b>36</b>
3.1 Equipamentos e acessórios	36
3.1.1 Termômetro analógico	37
3.1.2 Termo-higrômetro	38
3.1.3 Sistema eletrônico de medição	39
3.2 Procedimento de coleta de dados	40
3.3 Aferição da bomba de abastecimento	44
<b>4 RESULTADOS E ANÁLISES</b>	<b>46</b>
<b>5 CONCLUSÕES</b>	<b>69</b>
5.1 Recomendações para detentores de postos de abastecimento	70
5.2 Recomendações para trabalhos futuros	71
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>72</b>
<b>ANEXO A</b>	<b>75</b>
	<b>86</b>

## 1 INTRODUÇÃO

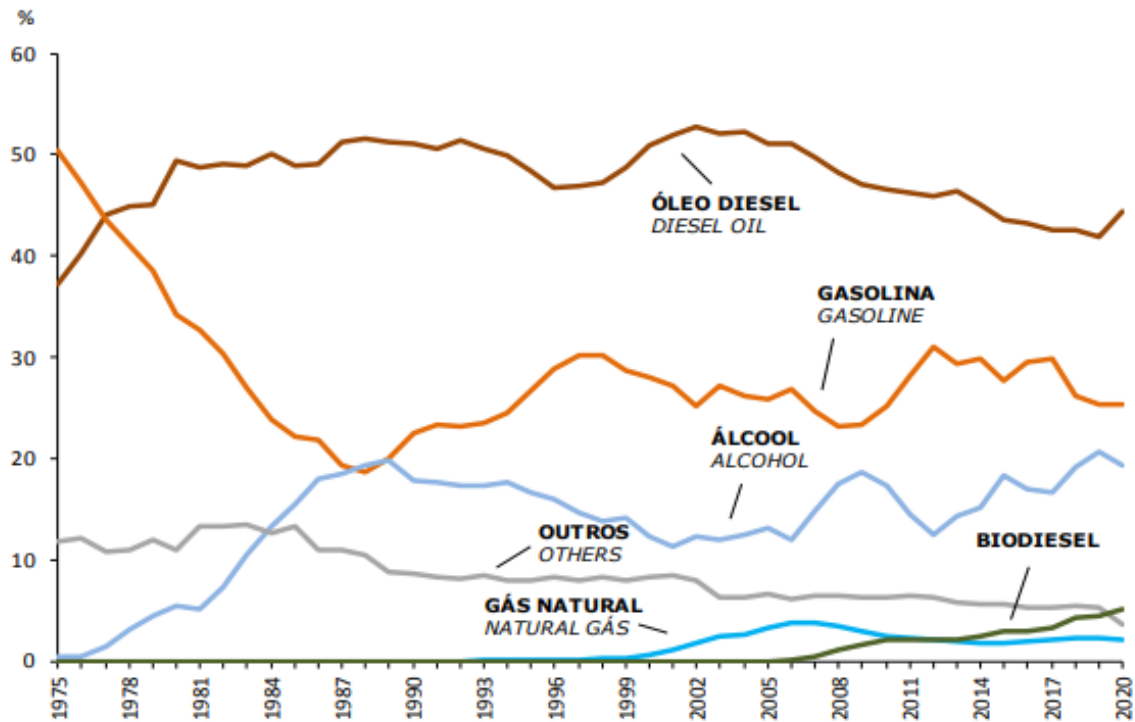
A gasolina é um combustível não renovável, composto principalmente por hidrocarbonetos de séries parafínicas, olefínicas, naftênicas e aromáticas, obtido através do processo de refino ou craqueamento do petróleo e pode possuir sua composição variável, de acordo com o uso final, origem do petróleo e tipos de processos de refino. Pode ser dividida, no que diz respeito a sua aplicação, em: automotiva ou de aviação.

A greve dos caminhoneiros em 2018 deixou explícito a enorme dependência do Brasil em torno dos derivados do petróleo. A paralisação fez com que o abastecimento da gasolina não chegasse aos postos das cidades, comprometendo não somente a distribuição de alimentos, mercadorias e transporte da população, mas, também, o pleno funcionamento de empresas que possuem posto de abastecimento em suas instalações.

Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN), confeccionado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a gasolina é o segundo combustível oriundo do petróleo utilizado no setor de transporte, conforme Figura 1.



**Figura 1 - Estrutura do consumo de derivados de petróleo no setor transportes brasileiro**



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2021)

Nesse sentido, o controle do seu volume em tanques de armazenamento atmosféricos aéreos horizontais requer alto grau de precisão, visto que é um combustível altamente volátil e caro. Assim, a ausência ou displicência na administração do estoque ocasiona perda do ativo (combustível), desconfiância, incerteza, desconforto dos controladores ou até parada geral da frota administrada pela ausência de combustível para o abastecimento dos veículos. Por isso, são frequentes os questionamentos sobre qual seria a correta taxa de evaporação a ser considerada com a finalidade das perdas serem devidamente conhecidas.

De acordo com o estudo sobre a taxa de evaporação de combustíveis, realizado pela CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2015):

As emissões evaporativas ocorrem também ao longo de toda cadeia de operação de transferência do combustível, tais como: da distribuidora para o caminhão tanque, do caminhão tanque para o posto e ainda do posto de abastecimento para o veículo.

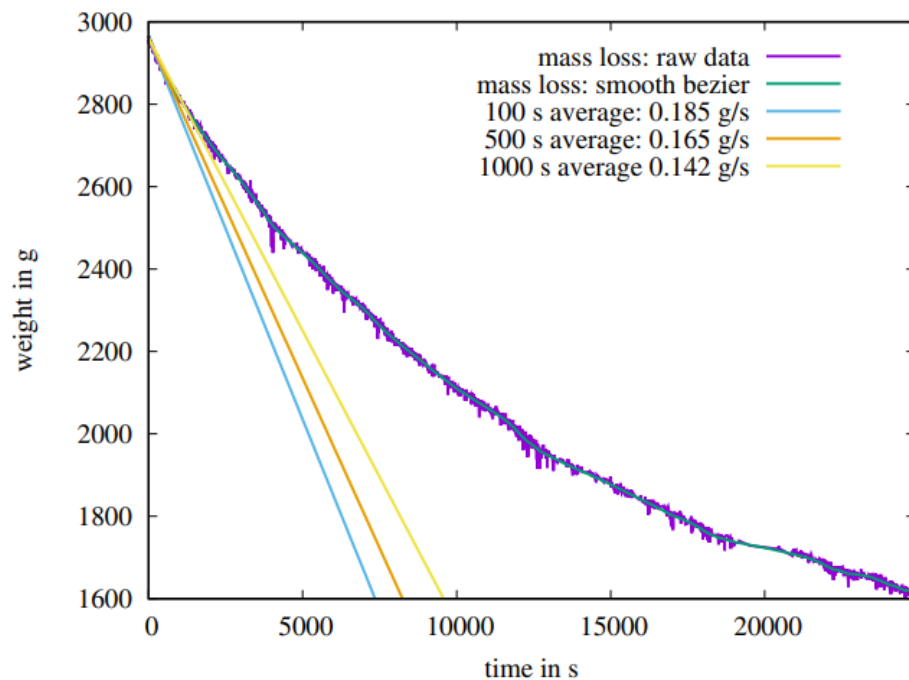
Segundo o Manual de Transporte de Superfície MCA 75-1E, onde se estabelece o detalhamento das atividades do Sistema de Transporte de Superfície do

Comando da Aeronáutica e gerenciamento do abastecimento de combustíveis e lubrificantes, deve-se controlar as perdas e evaporação. Perdas superiores a 0,5% do consumo, no período medido, devem ser justificadas e adotadas providências para sua redução (BRASIL, 2020).

Zheng *et al.* (2011) apresentam estudos utilizando um espectrômetro de massa de reação de prótons para realizar medições de emissões de oito postos de gasolina em Pequim. O fator de emissão estimado para postos de abastecimento de gasolina com processos de reaproveitamento de gasolina foi de 0,5 quilos evaporados a cada tonelada de gasolina. Contudo, em postos sem sistema de controle de emissões o valor foi de 2,49 quilos evaporados por tonelada de gasolina.

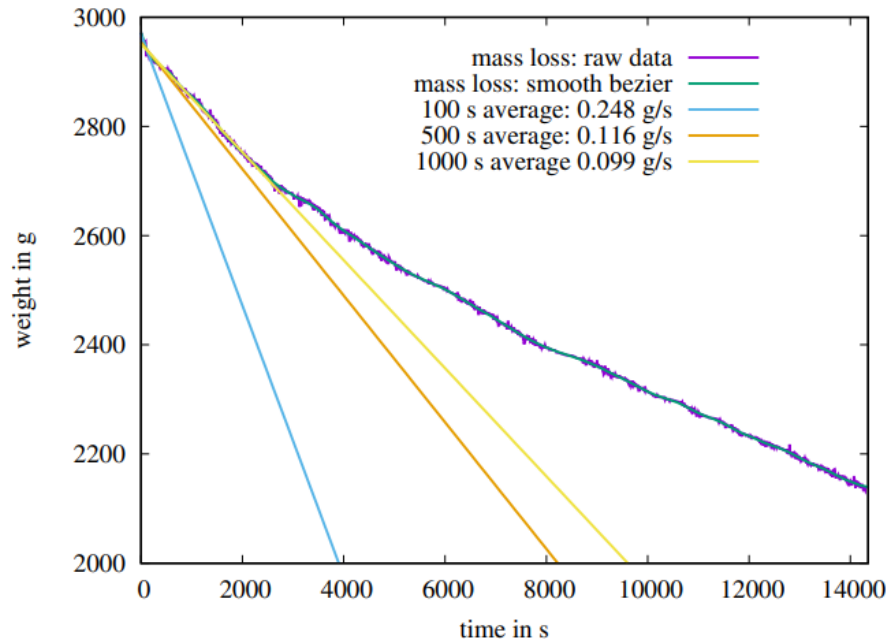
Estudos realizados na Alemanha por Zinke *et al.* (2019) comparam medições experimentais do fluxo máximo de evaporação proveniente de derramamentos de gasolina armazenada em tanques de teto flutuante com modelos empíricos existentes, tendo como objetivo prever a ordem de grandeza do fluxo de massa evaporada e testar a aplicabilidade dos modelos em simulações de dispersão *Computational Fluid Dynamics* - CFD. A perda média nos primeiros cem segundos no inverno foi de 0,19 g/s e 0,25 g/s no verão, conforme Figuras 2 e 3.

**Figura 2 - Relação da massa de gasolina evaporada em função do tempo no inverno**



Fonte: Zinke *et al.* (2019)

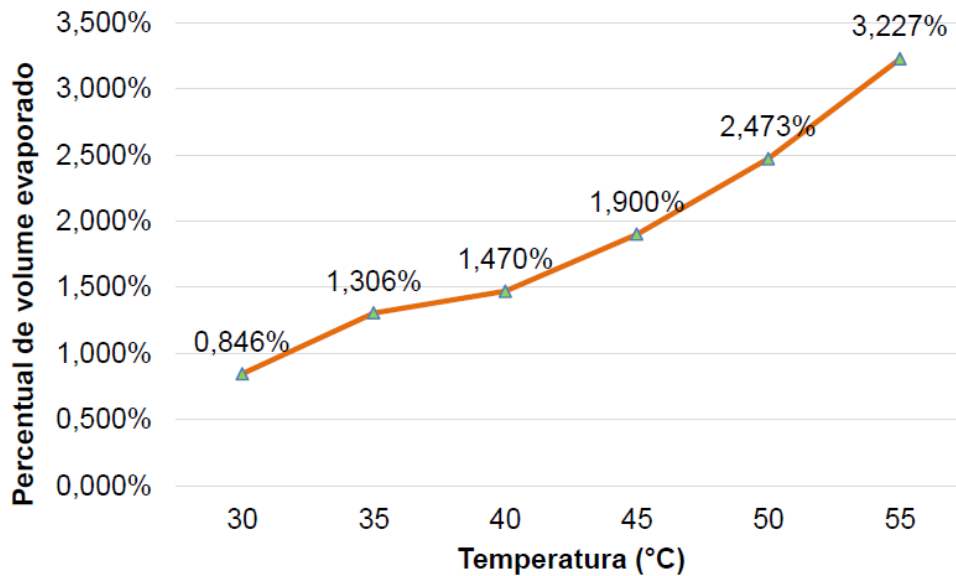
**Figura 3 - Relação da massa de gasolina evaporada em função do tempo no verão**



**Fonte: Zinke et al. (2019)**

André (2016) apresenta estudos em que o percentual de volume evaporado de gasolina comum é maior com o aumento da temperatura. Evidencia-se que a partir da temperatura de 30 °C é imprescindível o controle das emissões fugitivas, em específico as perdas evaporativas, pois o percentual médio por hora de volume evaporado em função da temperatura da gasolina comum supera os 0,8%. Conforme Figura 4.

**Figura 4 - Percentual médio por hora de volume evaporado em função da temperatura. Gasolina comum**



Fonte: André (2016)

Atualmente, não existe um consenso entre os órgãos técnicos sobre o quanto esta evaporação afeta o controle dos estoques físicos de combustível. Todavia, segundo o Boletim Técnico EB40-BT-30.500-01 do Comando do Exército Brasileiro, que visa diminuir dúvidas e normatizar os procedimentos relativos à taxa de evaporação de combustível no âmbito do Exército Brasileiro, é certo que a medição dos combustíveis sofre variação de acordo com alguns fatores externos, como a variação de temperatura do ambiente, a área livre do combustível em contato com a atmosfera, a existência de válvula de pressão e vácuo nos tubos de respiro dos tanques de armazenamento de combustíveis, o volume de combustível abastecido diariamente nos equipamentos móveis e outros. (BRASIL, 2022).

Devido a esses fatores e à falta de consenso sobre os reais efeitos da evaporação no controle dos estoques, é extremamente difícil definir uma única taxa de evaporação que possa ser aplicada em todas as regiões do território brasileiro.

Este Trabalho de Conclusão de Curso será desenvolvido segundo uma abordagem experimental, considerando um tanque de armazenamento atmosférico aéreo horizontal, com o objetivo de quantificar perdas por evaporação da gasolina do tipo comum armazenada. Serão efetuadas coletas de parâmetros, tais como: temperatura do combustível, temperatura e umidade relativa do ambiente, temperatura da parede do tanque com maior incidência solar e volume do combustível. Será elaborado um procedimento experimental para o levantamento dos

dados mencionados, utilizando sensores de temperatura, umidade relativa do ar e medições de volume.

Além disso, uma análise estatística para processar os dados coletados durante o período de seis meses, bem como orientações direcionadas às empresas detentoras de postos de abastecimento com tanques de armazenamento atmosféricos aéreos horizontais para uma contabilidade do combustível estocado mais precisa.

### **1.1 Objetivo geral**

Desenvolver uma metodologia para quantificar as perdas por evaporação da gasolina armazenada em tanques atmosféricos aéreos horizontais com o intuito de minimizar diferenças de volume entre o estoque físico e o estoque escriturado.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Efetuar uma pesquisa bibliográfica das regulamentações existentes para armazenagem de combustíveis e líquidos inflamáveis;
- Realizar o levantamento do histórico das perdas por evaporação de gasolina através de análise estatística;
- Elaborar um estudo capaz de caracterizar a taxa evaporação da gasolina comum em um posto de abastecimento em função da temperatura e percentuais de umidade relativa do ar;
- Propor novos padrões para o controle de estoque de gasolina comum em tanques de armazenamento atmosféricos aéreos horizontais localizados na Região Metropolitana de Recife.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentados conceitos e definições relacionadas à temática em estudo.

### 2.1 Emissões fugitivas

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução n.º 382/2006, define as emissões fugitivas como lançamentos difusos na atmosfera, que podem ser sólidos, líquidos ou gasosos, gerados por uma fonte que não tem um processo específico para controlar ou dirigir o seu fluxo, como é o caso de vazamentos, derramamento ou evaporação de material armazenado.

Os compostos orgânicos voláteis são cancerígenos e, quando lançados à atmosfera, são danosos ao meio ambiente por criarem um potencial de aquecimento global devido a interação com o ozônio existente na atmosfera, contaminação do solo e águas, risco de intoxicação e incômodo devido ao odor característico.

Em postos de abastecimento, as emissões fugitivas são observadas nas áreas onde os combustíveis líquidos são estocados, especificamente o tanque de armazenamento e as linhas de abastecimento, descarga e respiro.

Neste trabalho, serão estudadas as emissões fugitivas causadas pelas perdas por evaporação de gasolina tipo comum em postos de abastecimentos.

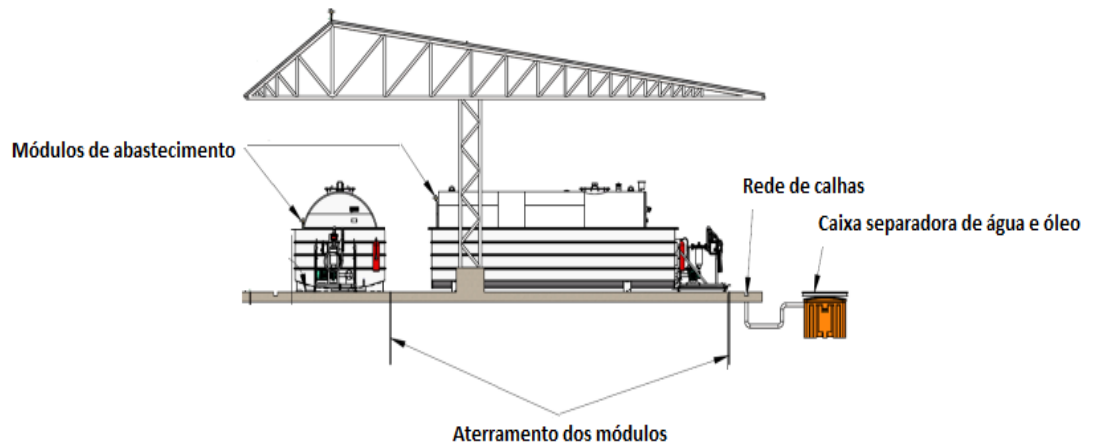
### 2.2 Postos de abastecimentos

O CONAMA por meio da Resolução n.º 273/2000 classifica posto de abastecimento como:

II - Posto de Abastecimento-PA: Instalação que possua equipamentos e sistemas para o armazenamento de combustível automotivo, com registrador de volume apropriado para o abastecimento de equipamentos móveis, veículos automotores terrestres, aeronaves, embarcações ou locomotivas; e cujos produtos sejam destinados exclusivamente ao uso do detentor das instalações ou de grupos fechados de pessoas físicas ou jurídicas, previamente identificadas e associadas em forma de empresas, cooperativas, condomínios, clubes ou assemelhados.

A Figura 5 ilustra a configuração geral de um posto de abastecimento e a Figura 6 mostra as principais vistas do posto de abastecimento em análise.

**Figura 5 - Sintetização de um posto de abastecimento**



Fonte: Adaptado de Arxo (2021)

**Figura 6 - Posto de abastecimento analisado**

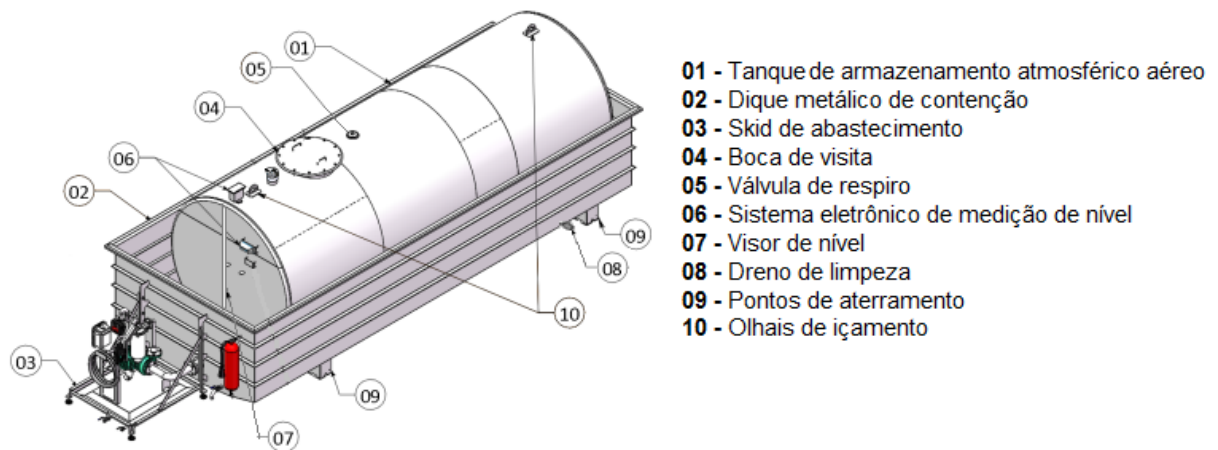


Fonte: Arquivo pessoal (2021)

## 2.2.1 Módulo de abastecimento

O módulo de abastecimento e descarga foi desenvolvido para permitir o armazenamento e abastecimento de combustíveis, tais como diesel, gasolina e álcool, podendo ser filtrados ou não. O módulo de abastecimento é constituído basicamente por um dique de contenção, tanque de armazenamento e *skid* de descarga e abastecimento, dotado de válvulas para operações de enchimento e descarga, conforme Figura 7.

**Figura 7 - Layout do módulo de abastecimento**



Fonte: Adaptado de Arxo (2021)

A seguir serão abordados os seguintes componentes do módulo de abastecimento: tanque de armazenamento atmosférico aéreo, *skid* de abastecimento, válvula de respiro, sistema eletrônico de medição e visor de nível.

### 2.2.1.1 Tanque de armazenamento atmosférico aéreo

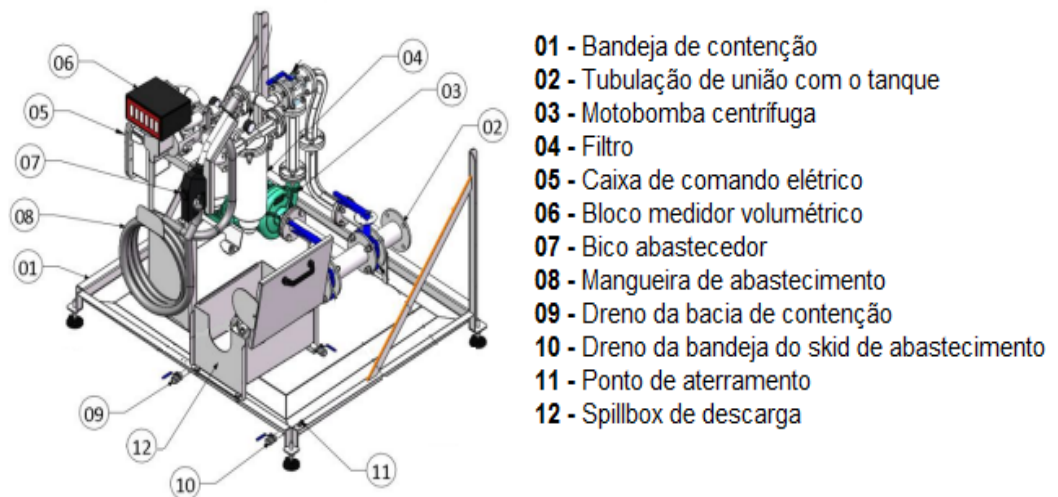
De acordo com a NBR 15461 (ABNT, 2007), é um reservatório de armazenamento projetado para operar a pressões que variam desde - 3,4 kPa (- 0,5 psig) até 6,8 kPa (1 psig), medidas no topo do reservatório, destinado à instalação estacionária, com capacidade líquida superior a 450 L, para armazenamento de líquidos inflamáveis ou combustíveis. Os tipos de tanques aéreos incluem: cilíndrico horizontal, cilíndrico vertical e retangular.



### 2.2.1.2 Skid de abastecimento

Consiste em um conjunto de equipamentos instalados sobre plataforma metálica que previne eventuais vazamentos no solo com sistema de bombeamento simples ou duplo para descarga de combustíveis (diesel, biodiesel, álcool, gasolina, etc.) em tanques de armazenamento atmosférico aéreos, sistema de abastecimento com filtração e medição de volumes. A Figura 8 apresenta um exemplo de *skid* de abastecimento.

**Figura 8 - Skid de abastecimento sintetizado**



Fonte: Adaptado de Arxo (2021)

### 2.2.1.3 Válvula de respiro

Também chamada de válvula de alívio de pressão e vácuo, é instalada na parte externa do tanque de combustível, evitando a saída contínua de gases para o meio ambiente, reduz a perda por evaporação, impede a entrada de corpos estranhos no interior do tanque e controla a saída de gases em recebimentos de combustíveis. Pode ser utilizada para suspiro de tanques subterrâneos e aéreos. Tanques com até 30 mil litros é recomendado válvula de 2 polegadas, acima de 30 mil litros, válvula de 3 polegadas.

A Figura 9 exemplifica uma válvula de respiro.

**Figura 9 - Válvula de respiro**



Fonte: Macrolub (2021)

#### **2.2.1.4 Sistema eletrônico de medição**

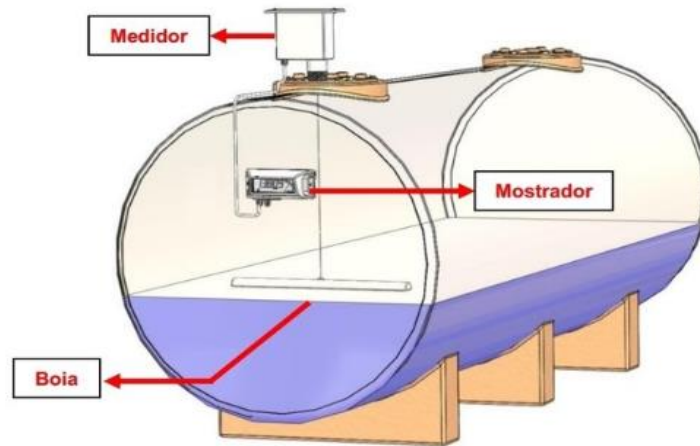
Utilizado para indicação do volume de combustível presente no tanque, garante ao usuário rapidez na apuração do estoque. Baseia-se na manipulação e armazenagem de baixa energia, de forma que o circuito instalado na área classificada não tenha capacidade de provocar ignição.

O medidor é um sistema eletromecânico acoplado diretamente ao topo do tanque. O nível de produto é detectado através da posição relativa de uma boia que permanece flutuando sobre o líquido que ocupa o reservatório monitorado.

O circuito do mostrador é capaz de transformar a grandeza analógica oriunda do medidor em uma medida linear digital, que quando relacionada aos parâmetros dimensionais do tanque é capaz de ser convertida em uma indicação volumétrica.

A Figura 10 apresenta um possível *layout* de instalação para um sistema eletrônico de medição.

**Figura 10 - Sistema eletrônico de medição instalado**



Fonte: NKL (2021)

#### **2.2.1.5 Visor de nível**

Esse instrumento de medição funciona pelo princípio de vasos comunicantes. Neste caso, pode-se considerar que uma coluna é o líquido no tanque de armazenamento e a outra coluna é o líquido no visor do medidor. Permite de forma simples e prática a mensuração do nível de combustível presente tanque com auxílio de uma régua fixada ao lado do visor de nível e uma tabela de arqueação teórica que é fornecida pelo fabricante do tanque de armazenamento. O sistema visor de nível e régua estão compilados na Figura 11.

**Figura 11 - Visor de nível e régua**

Fonte: Arquivo pessoal (2021)

### 2.3 Sistema de aterramento

De acordo com a NBR 17505-1 (ABNT, 2013), o aterramento é o processo de ligação de um ou mais objetos condutivos a terra, de forma que todos os objetos fiquem com um potencial elétrico igual a zero. Dessa forma, torna-se um sistema utilizado para evitar desequilíbrios na tensão elétrica das instalações do posto de abastecimento de combustíveis, eliminar fugas de energia que possam influenciar as fases na rede externa (fornecimento) e prevenir contra o choque elétrico através do contato humano com partes metálicas de equipamentos com falha no isolamento.

Em suma, o aterramento de um posto de abastecimento de líquidos inflamáveis é indispensável para a dissipação de cargas de eletricidade estática, uma vez que ele absorve a corrente elétrica acumulada dos aparelhos e direciona para o solo. Dessa maneira, o aterramento tem papel essencial para minimizar riscos de acidentes e pode ser visualizado na Figura 12.

**Figura 12 - Sistema de aterramento em postos de abastecimento**



Fonte: Arquivo pessoal (2021)

## 2.4 Gasolina comum

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, por meio da Resolução n.º 807/2020 classifica a gasolina automotiva em:

I - gasolina A comum: combustível produzido a partir de processos utilizados nas refinarias, nas centrais de matérias-primas petroquímicas e nos formuladores, destinado aos veículos automotivos dotados de motores de ignição por centelha, isento de componentes oxigenados;

II - gasolina A premium: combustível de elevada octanagem, produzido a partir de processos utilizados nas refinarias, nas centrais de matérias-primas petroquímicas e nos formuladores, destinado aos veículos automotivos dotados de motores de ignição por centelha cujo projeto exija uma gasolina com maior octanagem, isento de componentes oxigenados;

III - gasolina C comum: combustível obtido a partir da mistura de gasolina comum e de etanol anidro combustível, nas proporções definidas pela legislação em vigor; e

IV - gasolina C premium: combustível obtido a partir da mistura de gasolina A premium e de etanol anidro combustível, nas proporções definidas pela legislação em vigor;

De acordo com o boletim de combustíveis e qualidade de produtos da ANP, referente ao primeiro semestre de 2021, a especificação da gasolina de uso automotivo é definida na Resolução ANP n.º 807, de 2020, que, entre outros dispositivos, estabelece o teor de etanol anidro a ser misturado à gasolina A, para produção da gasolina C, em consonância com a norma vigente – atualmente, a Portaria MAPA n.º 75, de 05 de março de 2015, que fixa o percentual obrigatório de

etanol anidro combustível à gasolina comum em 27%, e à gasolina Premium em 25%. Adicionalmente, a Lei n.º 10.203, de 22 de fevereiro de 2001, em seu art. 1º § 2º, estabelece que será admitida a variação de um ponto percentual, para mais ou para menos, na aferição dos percentuais obrigatórios de etanol anidro a serem adicionados à gasolina. Desse modo, tem-se que o teor de etanol anidro na gasolina C comum pode variar entre 26 e 28%; e o teor de etanol na gasolina C premium pode variar entre 24 e 26% (BRASIL, 2021).

Neste trabalho, tem-se a gasolina comum fornecida pela Ipiranga Produtos de Petróleo S.A. para estudo da taxa de evaporação e análise de custos das perdas por evaporação. Assim, a Tabela 1 apresenta algumas características físicas e químicas do combustível.

**Tabela 1 - Propriedades físicas e químicas da gasolina original comum C**

Gasolina original comum C	
Aspecto (estado físico, forma, cor)	Líquido incolor a amarelado
Odor e limite de odor	Forte e característico
Ponto de ebulição inicial e faixa de temperatura de ebulição	> 35°C
Ponto de fulgor	< - 43°C (vaso fechado)
Pressão do vapor	69 kPa a 37,8 °C (máximo)
Densidade relativa	0,72 – 0,76 a 20°C
Solubilidade(s)	Em água: Insolúvel em água e em solventes orgânicos
Temperatura de autoignição	257 °C
Viscosidade	0,41 mPas
Concentração Etanol Anidro Combustível (%)	27%
Concentração benzeno (%)	< 1,0%

Fonte: Ipiranga (2021)

## 2.5 Emissões evaporativas

Segundo Çengel e Ghajar (2011), o processo de mudança de fase líquido vapor é chamado de evaporação se tem origem na interface líquido-vapor. Outro fator

determinante para caracterizar a evaporação é que o processo não envolve formação nem movimentação de bolhas.

A água como substância pode existir em três estados físicos (ou fases): sólido (gelo), líquido (água) ou gasoso (vapor d'água). O ar é uma mistura de 78% de nitrogênio, 21% de oxigênio e 1% de outros gases com vapor d'água. A ciência que estuda os mecanismos da mistura do ar e do vapor d'água é a Psicrometria. A Psicrometria está fundamentada no modelo de Dalton. Dessa forma, considera-se a hipótese que o ar e vapor d'água se comportam como gases perfeitos. Com isso, pode-se escrever para o ar úmido:

$$P_{atm} = P_a + P_v \quad (1)$$

A seguir, serão definidas algumas propriedades termodinâmicas da mistura ar-vapor:

- **Temperatura de bulbo seco (TBS):** temperatura do ar medida com um termômetro comum.
- **Temperatura de bulbo úmido (TBU):** temperatura medida a partir de um termômetro de bulbo úmido, que consiste de um termômetro comum envolto por gaze ou algodão úmido.
- **Umidade relativa do ar (%):** é uma variável importante, tendo em vista ser a razão da quantidade de vapor que o ar contém e a quantidade de vapor máxima que ele pode conter na mesma temperatura e pressão. Nesse sentido, a umidade do ar influencia na evaporação devido ao equilíbrio entre a água e o vapor d'água. Caso haja uma alta umidade relativa, o ar está mais saturado, há mais vapor presente no ar, e desse modo, a evaporação é desfavorecida. Com a umidade baixa, há menos vapor, facilitando a evaporação. Pode ser escrita matematicamente:

$$\phi = \frac{P_v}{P_g} \quad (2)$$

- **Temperatura de ponto de orvalho:** é a temperatura onde o vapor d'água contido no ar começa a condensar a pressão constante.

Sabe-se que no processo de transferências de combustível é esperado ocorrer as perdas provenientes da fase de vapor dos combustíveis armazenados em compartimentos destinados a esse fim, as chamadas perdas evaporativas.

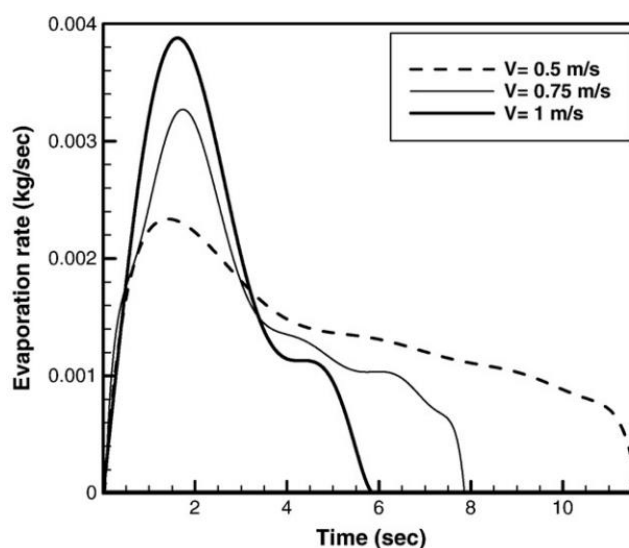
A mudança de temperatura, e por vezes de pressão, faz com que o combustível, ora na fase líquida, apresente uma porção na fase de vapor. Assim, deve-se acrescentar o fato de que esses vapores são formados devido à volatilidade da gasolina.

Volatilidade é a propriedade que expressa a tendência do produto a passar ao estado gasoso, influenciando suas emissões evaporativas.

Segundo Pereira; Gomes; Oliveira (2008) no momento em que o tanque tem uma abertura para atmosfera, através das conexões ou das aberturas existentes (boca do tanque, suspiros do tanque, etc.), vapores armazenados saem e logo se espalham entorno do posto e sua vizinhança.

Hassanvand; Hashemabadi; Bayat (2010) apresentam uma simulação numérica com apoio CFD para quantificar a taxa evaporação da gasolina durante o abastecimento de tanques subterrâneos. Nesse estudo, evidenciou-se que a velocidade empregada no abastecimento do tanque e a temperatura do combustível interferem na fração de gasolina perdida, conforme Figuras 13 e 14.

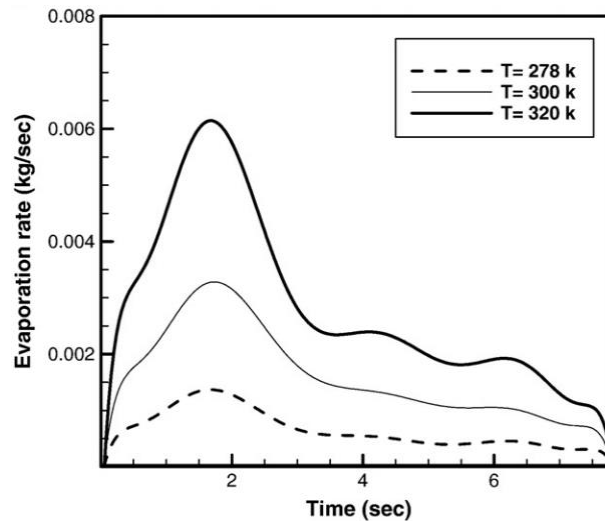
**Figura 13 -Taxa de evaporação da gasolina sob a perspectiva da velocidade de abastecimento do tanque de armazenamento**



Fonte: Hassanvand; Hashemabadi; Bayat (2010)



**Figura 14 - Taxa de evaporação da gasolina sob a perspectiva da temperatura**



Fonte: Hassanvand; Hashemabadi; Bayat (2010)

A quantificação das perdas em um tanque é baseada no Princípio de Conservação da Massa (3) e no Princípio de Conservação de Energia (4) para realizar os balanços de entrada e a saída do combustível.

$$m_{entrada} - m_{saída} = \Delta m_{VC} \quad (3)$$

$$E_{entrada} - E_{saída} = \Delta E_{VC} \quad (4)$$

## 2.6 Limites de perdas no Brasil

Na ausência de uma orientação específica que aborde limites tolerados de perdas para tanques atmosféricos aéreos horizontais, é aceitável que sejam utilizadas recomendações existentes para tanques de armazenamento subterrâneos de combustíveis.

Uma das recomendações é dada pela NBR 13787 (ABNT, 2013), que normatiza a forma de controle de estoque dos tanques com sistema de armazenamento subterrâneos de combustível (SASC) e determina que em variações acumuladas de estoque acima de 0,6% devem ser investigadas.

## 2.7 Descarga de combustível em tanques atmosféricos aéreos horizontais

Segundo Souza (2004), diariamente milhões de litros de gasolina são movimentados no país. As perdas na descarga de operações com caminhões-tanque, são fontes primárias de emissões evaporativas. Essas perdas ocorrem à medida que vapores orgânicos são lançados para a atmosfera, quando o combustível líquido é descarregado nos tanques subterrâneos ou aéreos. Os vapores orgânicos são formados pela evaporação do produto residual de cargas anteriores e pelo líquido que está sendo carregado. A quantidade de vapor perdido na emissão é, portanto, um fator a ser considerado.

A descarga de combustível do caminhão-tanque para o tanque de armazenamento aéreo atmosférico é realizada por bombeamento. A maioria dos *skids* de abastecimento são capazes de receber combustível do caminhão-tanque, tornando o procedimento mais rápido e seguro.

O início do abastecimento pode ser realizado da seguinte maneira:

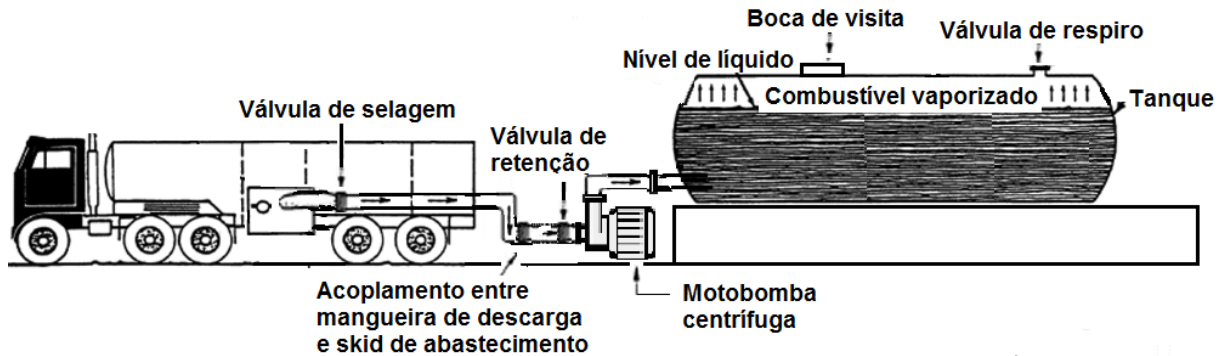
- Conectar o sistema de aterramento do posto de abastecimento no caminhão-tanque e o aterramento do caminhão-tanque no *skid* de abastecimento.
- Acoplar uma extremidade da mangueira de engate rápido no caminhão-tanque e a outra extremidade no *skid* de abastecimento.
- Preparar o *skid* de abastecimento para receber combustível.
- Ligar a motobomba centrífuga.
- Iniciar o descarregamento do caminhão tanque.

Ao término do recebimento de combustível, podem ser seguidas as seguintes orientações:

- Desligar a motobomba centrífuga.
- Preparar o *skid* de abastecimento para realizar abastecimentos.
- Desacoplar a mangueira de engate rápido do *skid* de abastecimento e do caminhão-tanque.
- Desconectar o sistema de aterramento do posto de abastecimento do caminhão-tanque e o do caminhão-tanque do posto de abastecimento.

A Figura 15 ilustra o processo de abastecimento em um tanque aéreo atmosférico horizontal.

**Figura 15 - Descarregamento do caminhão-tanque em tanque atmosférico aéreo horizontal**



Fonte: O autor (2021)

## 2.8 Emissões evaporativas em tanques sob armazenamento de longo prazo

Sereda; Pivemenov; Ulit'ko (2021) apresentam elementos de um método capaz de prever a evaporação de combustíveis sob armazenamento a longo prazo, onde são evidenciados na modelagem física e estatística do processo de evaporação de combustível em instalações de armazenamento. O novo método pode ser usado para obter estimativas de previsões imediatas necessárias para tomar decisões informadas sobre o armazenamento de combustível ao longo do prazo de consumo mínimo do recurso.

Com base nos conceitos clássicos de indicadores de evaporação abordados por Sereda; Pivemenov; Ulit'ko (2021), a taxa média de evaporação da massa ( $W_{ev}$ ,  $kg/m^2h$ ) é tomada para representar a massa de combustível evaporada ( $M$ ,  $kg$ ) da superfície ( $S$ ,  $m^2$ ) durante o tempo período ( $\tau$ ,  $h$ ):

$$W_{ev} = \frac{M_n}{S \tau} \quad (5)$$

Ao prever o nível de evaporação do combustível, é aconselhável contar com modelos matemáticos do processo de evaporação que levem em conta as condições que reproduzem a transferência de massa no reservatório. Como a forma exata dos

possíveis modelos é desconhecida, propõe-se interpretar as relações entre a composição dos combustíveis, as condições de armazenamento em reservatórios e a taxa de evaporação  $W_{ev}$  como modelos de regressão não linear multifatorial com a forma:

$$W_{ev} = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{j=1}^k b_{ij} x_i^2 + \varepsilon \quad (6)$$

Onde  $x$  são as variáveis codificadas dos fatores de previsão, ( $i=1, k$ );  $b_0$ ,  $b_i$  e  $b_{ij}$  são coeficientes de regressão;  $k$  é o número de fatores,  $\varepsilon$  é o erro experimental.

De acordo com a metodologia proposta, a tendência de previsão (potencial) dos combustíveis às perdas por evaporação é caracterizada por um indicador agregado (estimativa integral) de evaporação  $Int(W_{ev})$  ( $kg/m^2h$ ). A comparação dos valores das estimativas integrais de acordo com o critério de evaporação  $K_{ev}$  e a razão da estimativa integral de evaporação  $Int(W_{ev})_N$  do combustível investigado com a integral estimativa obtida para o combustível levado como um padrão  $Int(W_{ev})_E$ , segue a Equação 7 :

$$K_{ev} = Int(W_{ev})_N [Int(W_{ev})_E]^{-1} = \left[ \underbrace{\int_D dx_1 \dots \int dx_k G_N(x_1, \dots, x_k)}_D \right] \left[ \underbrace{\int_D dx_1 \dots \int dx_k G_E(x_1, \dots, x_k)}_D \right]^{-1} \quad (7)$$

Onde  $G_N(x_1, \dots, x_k)$  e  $G_E(x_1, \dots, x_k)$  são os integrandos da Equação 6, dependente de  $k$  fatores independentes;  $D$  é o domínio de integração das funções  $G_N$  e  $G_E$ .

O referido método de Sereda; Pivemenov; Ulit'ko (2021), prevê que a taxa de evaporação igual a  $2,26 kg/m^2h$  para a gasolina do tipo Regular-92 (comercializada na Rússia), com temperatura de evaporação do combustível de  $30^\circ C$ , apresenta um nível intermediário de conexão do reservatório com a atmosfera que é ajustado por dispositivo de regulação de pressão e o reservatório é abastecido com combustível até 50% de sua capacidade.

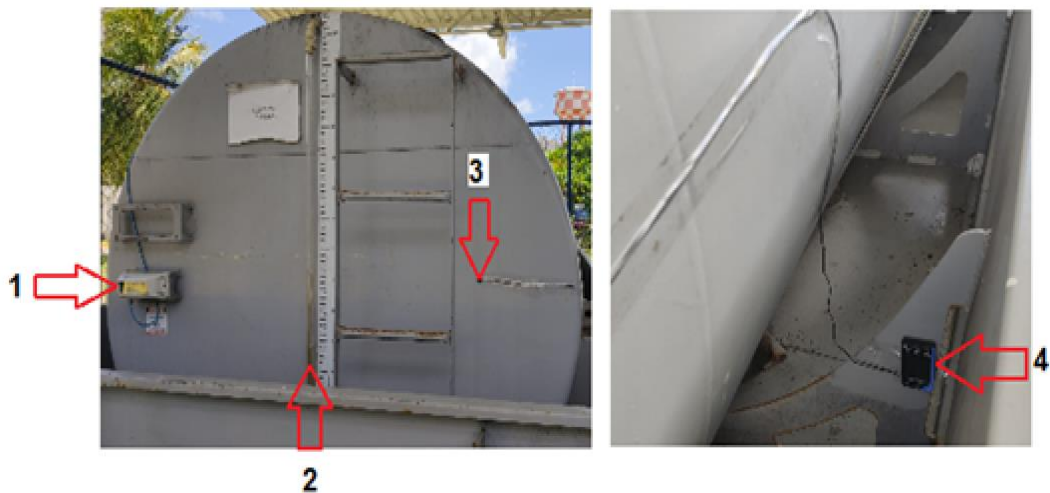
### 3 METODOLOGIA

O experimento foi montado com a finalidade de calcular a taxa de evaporação da gasolina comum tipo C fornecida pela Ipiranga Produtos de Petróleo S.A., que é uma das maiores redes de distribuição de combustíveis do Brasil, fundada em 1937 e possui mais de 7.000 postos de combustíveis em todo território nacional. Assim, foram realizadas medições do nível de gasolina no tanque, temperatura do ambiente, combustível e parede do tanque com maior incidência solar, percentual da umidade relativa do local e quantidade de combustível que entra e sai do tanque de armazenamento atmosférico.

#### 3.1 Equipamentos e acessórios

Para a referida análise, foram utilizados os seguintes equipamentos: termômetro analógico de combustíveis líquidos, termo-higrômetro digital e medidor de nível digital. O experimento é disposto na Figura 16.

**Figura 16 - Disposição dos equipamentos**



- 1 - Sistema eletrônico de medição
- 2 - Termômetro analógico
- 3 - Sonda do termo-higrômetro
- 4 - Termo-higrômetro

Fonte: Arquivo pessoal (2021)

É notório pontuar que houve dificuldades em criar o experimento e coletar os parâmetros de análise, principalmente nos três primeiros meses, porém, foram

indispensáveis para determinar a posição de cada sensor, entender o processo e melhorá-lo no decorrer dos meses. Dentre as dificuldades estiveram:

- Encontrar o melhor posicionamento do termo-higrômetro e sua sonda para que fossem capazes de capturar as temperaturas mais elevadas, tendo em vista que se o termo-higrômetro ficasse exposto ao sol, ele desarmaria com 50 °C ou coletaria a mesma temperatura de sua sonda;
- Encontrar a melhor posição em que o termômetro analógico sempre ficasse imerso no combustível, independentemente do nível do estoque;
- Encontrar o melhor horário que compreendesse as maiores temperaturas no período vespertino;
- Em dias nublados ou com nuvens, os horários de coleta das variáveis nem sempre eram os melhores para retratar o balanço vespertino, por isso, a partir de outubro foram adotados os pontos máximos e mínimos armazenados no termo-higrômetro a cada dia.

### 3.1.1 Termômetro analógico

Instrumento de medição de temperatura do fabricante RIVATERM, o termômetro de líquido consiste em um tubo de vidro (cobertura transparente), graduado, fechado e que possui em sua extremidade um bulbo que contém *galinstan* (liga eutética composta de gálio, índio e estanho). Com a variação da temperatura, o *galinstan* expande-se no tubo e proporciona uma leitura na faixa graduada.

O termômetro utilizado, conforme Figura 17, necessita de imersão total no líquido, tem intervalo de medição de -10 °C a +50 °C, possui divisão de 0,5 °C e limite de erro igual  $\pm 0,5$ .

**Figura 17 - Termômetro analógico**



Fonte: RIVATERM (2021)

### 3.1.2 Termo-higrômetro

Instrumento de medição de temperatura e umidade relativa do ar do fabricante Minipa, mede a temperatura interna, a temperatura externa (por meio de um cabo sensor de aproximadamente 3 m) e a umidade relativa do ambiente, apresentando o valor medido no seu *display* LCD. O termo-higrômetro usado no estudo possui as especificações expressas na Figura 18 e é apresentado na Figura 19.

**Figura 18 - Especificações do termo-higrômetro**

Temperatura interna		
Faixa	Resolução	Precisão
0 ~ <40 °C	0,1 °C	± 1,0 °C
≥40 ~ 50 °C		± 2,0 °C

Temperatura externa		
Faixa	Resolução	Precisão
-50 ~ 0 °C	0,1 °C	± 2,0 °C
0 ~ <40 °C		± 1,0 °C
≥40 ~ 70 °C		± 2,0 °C

Umidade relativa do ar		
Faixa	Resolução	Precisão
5 ~ 95%	1%	± 10%

Fonte: Minipa (2021)

**Figura 19 - Termo-higrômetro digital**



Fonte: Minipa (2021)

### **3.1.3 Sistema eletrônico de medição**

É um equipamento do fabricante NKL, utilizado para medir e fornecer o volume em litros de líquidos remanescentes dentro de tanques de armazenamento cilíndricos (verticais ou horizontais) ou retangulares de forma automática. É composto por três partes: mostrador, medidor e boia.

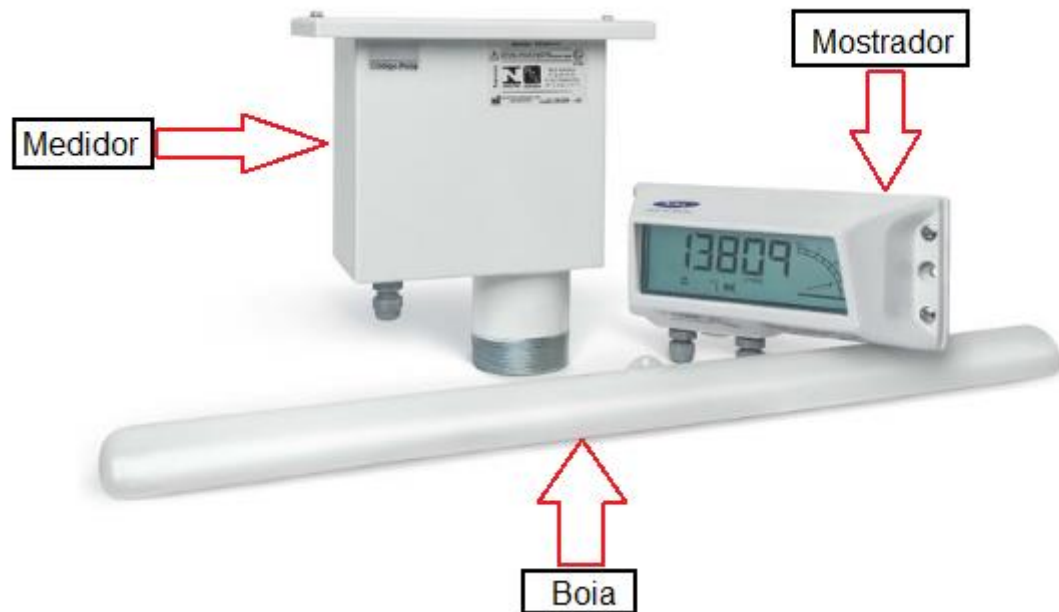
O medidor é instalado em cima do tanque, dentro dele há um mecanismo de polia com um cabo de aço inox que está ligado a boia acondicionada dentro do tanque. O medidor é ligado ao mostrador (*display*) por um cabo com três vias. Dessa forma, substitui o sistema de checagem de nível manual, oferecendo segurança e comodidade nas medições de volume.

Em tanques horizontais possui faixa de comprimento e diâmetro de 1 a 65535 mm e 100 a 10000 mm, respectivamente. Possui resolução de 1 litro e exatidão de  $\pm 2$  do fundo de escala.

A Figura 20 apresenta o conjunto sistema medidor de volume eletrônico utilizado no estudo.



**Figura 20 - Conjunto sistema medidor de volume eletrônico**

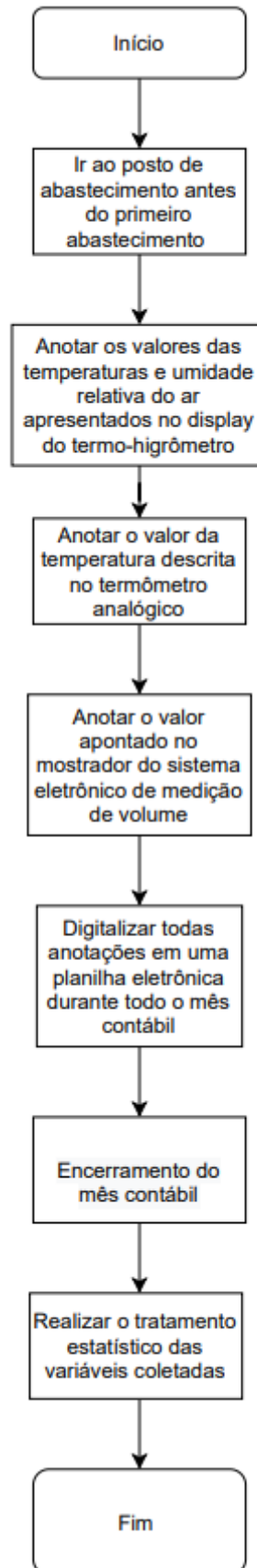


Fonte: NKL adaptado (2021)

### **3.2 Procedimento de coleta de dados**

A coleta de dados (temperatura, umidade e volume) foi feita visualmente em horários matutinos e vespertinos, sempre por uma pessoa previamente orientada do setor de controle de combustíveis. Dessa maneira, com os dados armazenados, o tratamento estatístico consistiu em: determinar os valores médios, mínimos, máximos, desvio padrão e erro padrão das variáveis, contabilizar as entradas e saídas de combustível, comparar o volume abastecido de gasolina com o volume indicado pelo medidor volumétrico digital e identificar a taxa de evaporação do combustível no referido mês contábil.

O fluxograma descrito na Figura 21 sintetiza o procedimento de coleta e tratamento de dados adotado.

**Figura 21 - Procedimento da coleta e tratamento de dados**

A Tabela 2 demonstra o modelo da planilha digital para o armazenamento dos dados.

**Tabela 2 - Armazenamento de dados coletados**

TANQUE 1 – GASOLINA						
DATA	HORA	Temperatura do ambiente (°C)	Temperatura da parede do tanque (°C)	Umidade relativa do ar(%)	Temperatura do combustível(°C)	VOLUME (L)
26/set	15:00	34,7	37,9	58	30	4563
27/set	13:00	30,4	29,5	66	28	9464
27/set	17:30	26,7	26,7	74	26	9382
28/set	08:00	28,6	28	69	26,5	9372
28/set	12:40	30,4	29,1	62	28	9219
28/set	13:55	30,1	29,7	63	30	9219
28/set	14:35	30,8	32,5	61	29,5	9219
29/set	08:00	27,1	26,5	85	26,25	9198
29/set	12:00	30,4	28,8	70	29	9065
29/set	14:00	30,9	30,4	71	31,5	9065
29/set	14:30	31,3	33,8	68	30	9065
30/set	08:00	29	28	77	27,75	9065
30/set	12:40	30,6	29,4	68	29	8839
30/set	14:00	31,8	31,8	66	33	8839
30/set	14:30	33,5	39,8	59	31,5	8839

Fonte: O autor (2021)

A análise de erros em uma atividade experimental é essencial para a validação do experimento. Em trabalhos acadêmicos, onde são feitas medições, é necessário estudo da propagação de erros, pois a incerteza também está presente nas medidas do experimento. As fontes de erros podem ser resumidas em duas:

- **Erros fixos ou sistemáticos** – Este tipo de erro indica valores acima ou abaixo do valor real quando se fazem várias medições. Suas fontes de erros são identificáveis, normalmente estão relacionados com a exatidão do instrumento, e quase sempre podem ser corrigidos ou compensados.
- **Erros aleatórios** – Como o próprio nome diz, são erros de natureza desconhecida e aleatória, portanto difíceis de serem eliminados e estão relacionados com a repetitividade do instrumento. Estes erros podem ser tratados, de forma quantitativa, fazendo-se uso de métodos estatísticos, de

forma que o seu efeito na grandeza medida e na sua propagação em cálculos possa ser determinado.

Quando se realiza uma série de medições, é bem provável que erros aleatórios ocorram e, portanto, ocorrerá uma distribuição das leituras com valores a maior ou a menor do valor real da grandeza. Uma forma de obter-se a estimativa da grandeza medida é através da média aritmética ( $\bar{X}$ ) de  $N$  valores medidos com a formulação:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad (8)$$

Após estimar o valor médio da grandeza medida, sabe-se que os valores medidos estarão distribuídos em torno da média e será necessário estimar o grau de dispersão destas medições, visto que o valor médio se aproxima do valor real quando é muito grande e os erros sistemáticos são nulos. Uma forma de quantificar a incerteza da medição é através do desvio-padrão ( $\sigma$ ):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N-1}} \quad (9)$$

Com a proposta de medir a precisão de uma estimativa, ou seja, a medida da variabilidade da distribuição teórica de uma estatística, optou-se em calcular o erro padrão da amostra:

$$\text{Erro padrão} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (10)$$

A Tabela 3 traz os resultados do desvio padrão e erro padrão das médias de cada variável coletada em seus respectivos meses.

**Tabela 3 - Desvios padrões e erros padrões das variáveis analisadas**

Mês	Temperatura do ambiente (°C)		Temperatura da parede do tanque (°C)		Umidade relativa do ar (%)		Temperatura do combustível (°C)	
	Desvio padrão	Erro padrão	Desvio padrão	Erro padrão	Desvio padrão	Erro padrão	Desvio padrão	Erro padrão
<b>Julho</b>	2,3054	0,2796	4,2273	0,5126	9,1314	1,1073	1,3233	0,1605
<b>Agosto</b>	2,5414	0,2650	4,7382	0,4940	10,5439	1,0993	1,7527	0,1827
<b>Setembro</b>	2,2760	0,2469	5,7969	0,6288	8,8020	0,9547	1,9577	0,2123
<b>Outubro</b>	1,9966	0,2218	4,3894	0,4877	7,2531	0,8059	2,1241	0,2360
<b>Novembro</b>	1,1505	0,1596	1,9945	0,2766	5,3322	0,7394	1,4516	0,2013
<b>Dezembro</b>	1,5587	0,2183	5,1148	0,7162	6,5320	0,9147	1,6990	0,2379

Fonte: O autor (2021)

### 3.3 Aferição da bomba de abastecimento

Sabe-se que o Brasil possui vários postos de abastecimento e revendedores varejistas de combustíveis líquidos. Com a finalidade de que todos estes pontos de abastecimento sigam um padrão, ofereçam garantias e segurança ao consumidor, as bombas utilizadas no abastecimento devem dispor de uma medida de volume com capacidade de 20 litros - chamada de galão aferidor ou aferidor volumétrico para combustível, com modelo aprovado pelo Instituto Nacional de Metrologia Qualidade e Tecnologia (INMETRO), conforme Figura 22. O equipamento deve passar por um processo de aferição anualmente. Após ser aferido, sua medida é utilizada pelos gestores do posto para verificar se a bomba de abastecimento está calibrada.

**Figura 22 - Aferidor volumétrico para combustível**

Fonte: Seu Posto (2021)

De acordo com os procedimentos de operação em postos de combustíveis definidos pela NBR 15594-1 (ABNT, 2021), a aferição deve atender na íntegra as prescrições das Portarias do INMETRO, referentes ao perfeito funcionamento dos equipamentos medidores de abastecimento instalados no posto revendedor veicular. Para cada bico aferido, através da coleta de combustível na medida padrão aprovada pelo órgão, deve ser providenciado o devido registro do volume e combustível utilizado na aferição, no qual devem constar a saída e o retorno para o tanque do volume utilizado, nas mesmas quantidades ou dentro dos níveis de tolerância. No caso de anormalidade constatada na aferição dos medidores, o responsável pelo posto de abastecimento ou revendedor de combustível veicular deve imediatamente paralisar a utilização do equipamento.

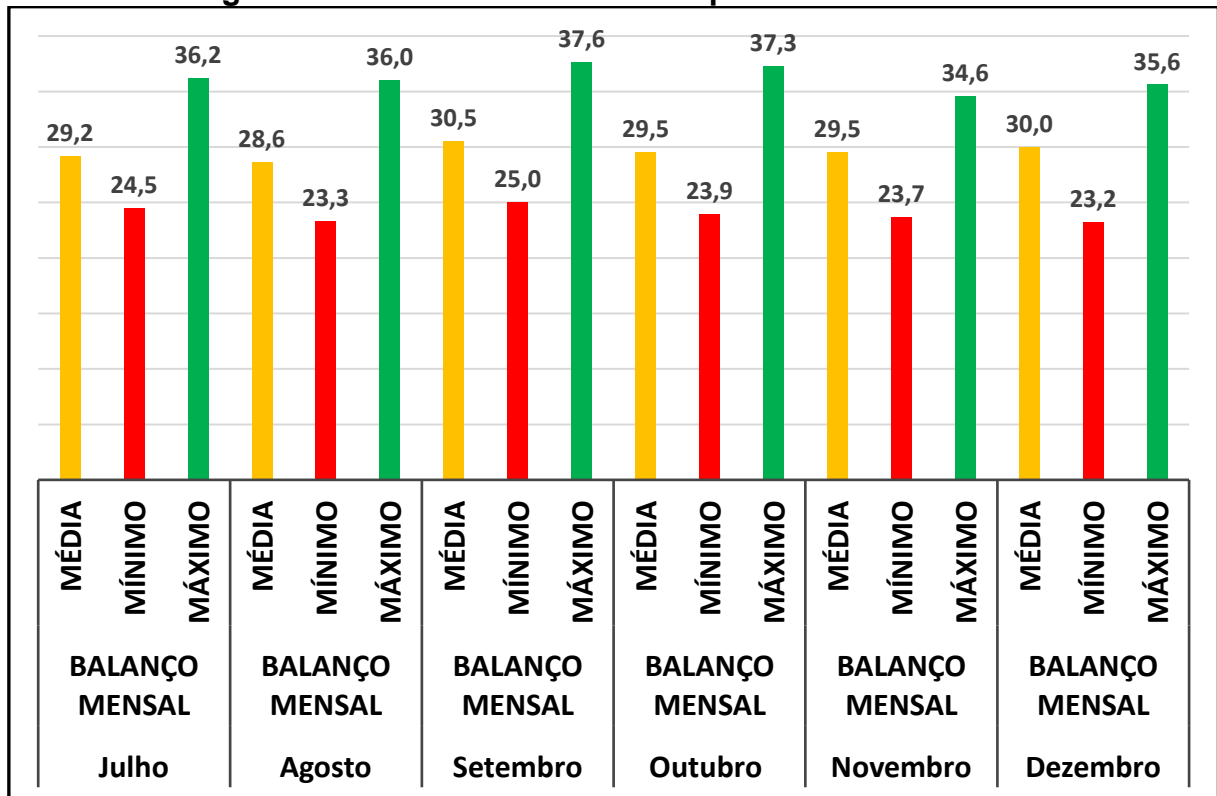
## 4 RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos na coleta das variáveis (temperatura do ambiente, temperatura da parede do tanque com maior incidência solar, umidade relativa do ar presente no posto de abastecimento e temperatura do combustível), com a finalidade de identificar a taxa de evaporação da gasolina original comum C da Ipiranga Produtos de Petróleo S.A. armazenada em tanque atmosférico aéreo horizontal e, por fim, sugerida uma metodologia para minimizar diferenças de volume entre o estoque físico e o estoque escriturado.

Os resultados serão apresentados e analisados na forma de figuras para cada mês analisado.

Tendo em vista que, no posto de abastecimento analisado, o período vespertino é aquele onde há contato direto dos raios solares com *skid* de abastecimento, surgiu a necessidade de analisar o comportamento das variáveis separadamente durante o dia. Dessa forma, a sequência da Figura 23 até a 34 analisa as quatro variáveis correspondentes em três momentos: mensal, mensal matutino e mensal vespertino. O balanço mensal leva em conta todas as medições do mês sem a preocupação de horários para fornecer a média, o valor mínimo e máximo. Já os matutino e vespertino, reúnem as coletas feitas pela manhã e à tarde, respectivamente.

Figura 23 - Análise mensal da temperatura do ambiente



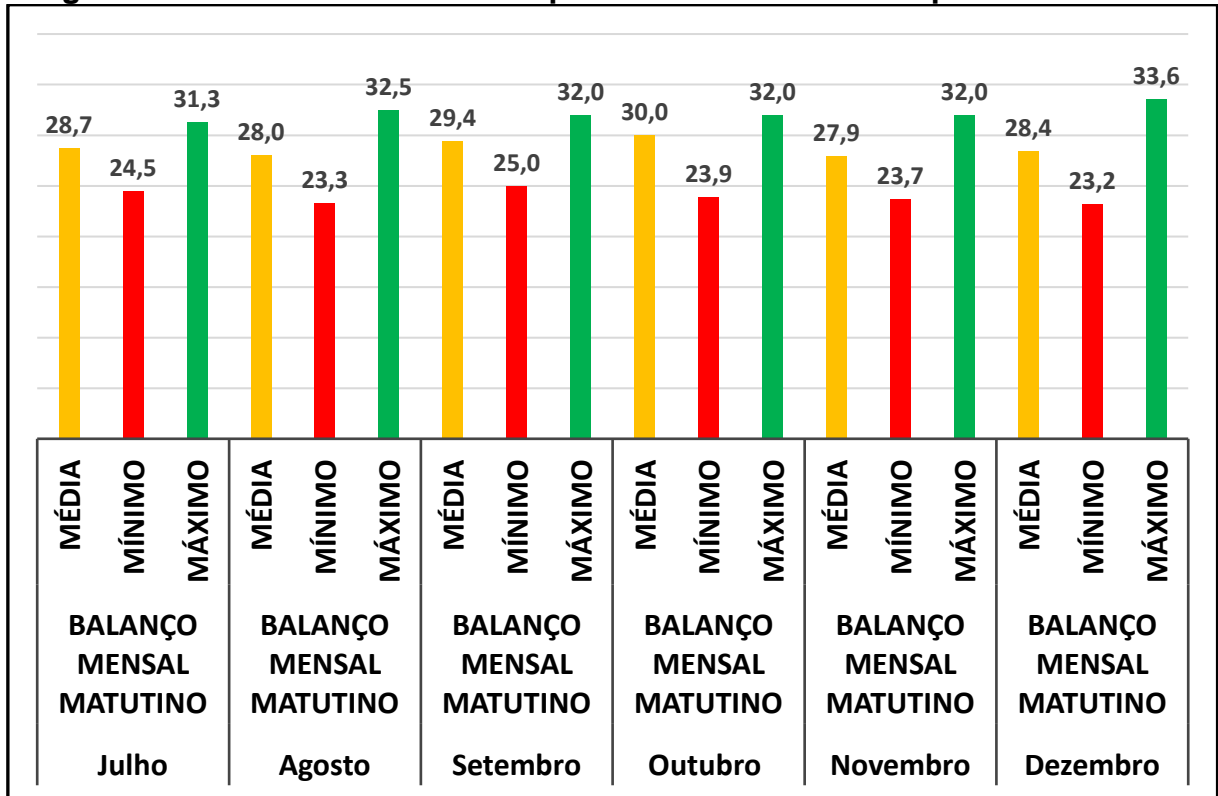
Fonte: O autor (2021)

Observa-se que os balanços mensais apresentam temperaturas médias com valores próximos, sendo 1,9 °C a maior diferença, que foi localizada entre os meses de agosto e setembro.

Além disso, existe uma variação considerável entre as temperaturas máximas e mínimas em todos os meses, sendo em outubro a maior diferença coletada com 13,4 °C.



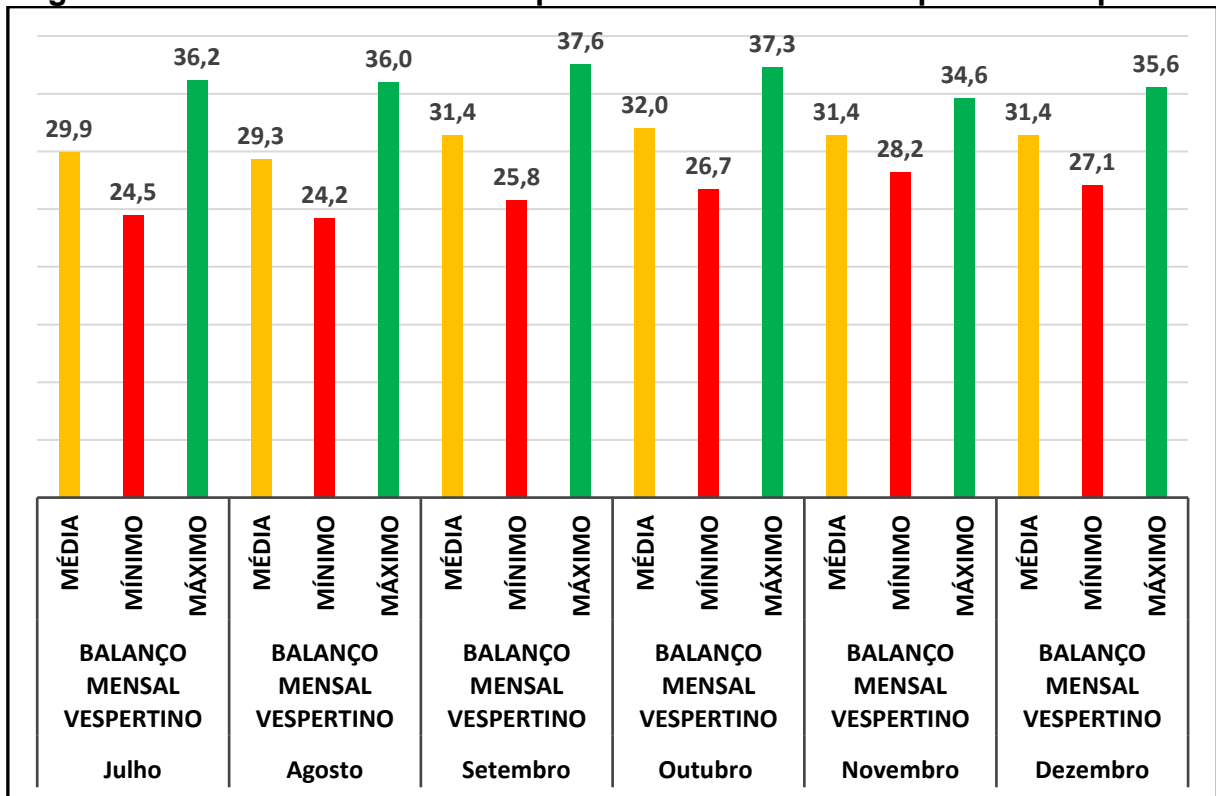
**Figura 24 - Análise mensal da temperatura do ambiente no período matutino**



Fonte: O autor (2021)

Quando comparada com a Figura 23, verifica-se que as temperaturas médias e as máximas sofreram reduções no período matutino, dentre essas as temperaturas máximas merecem destaque.

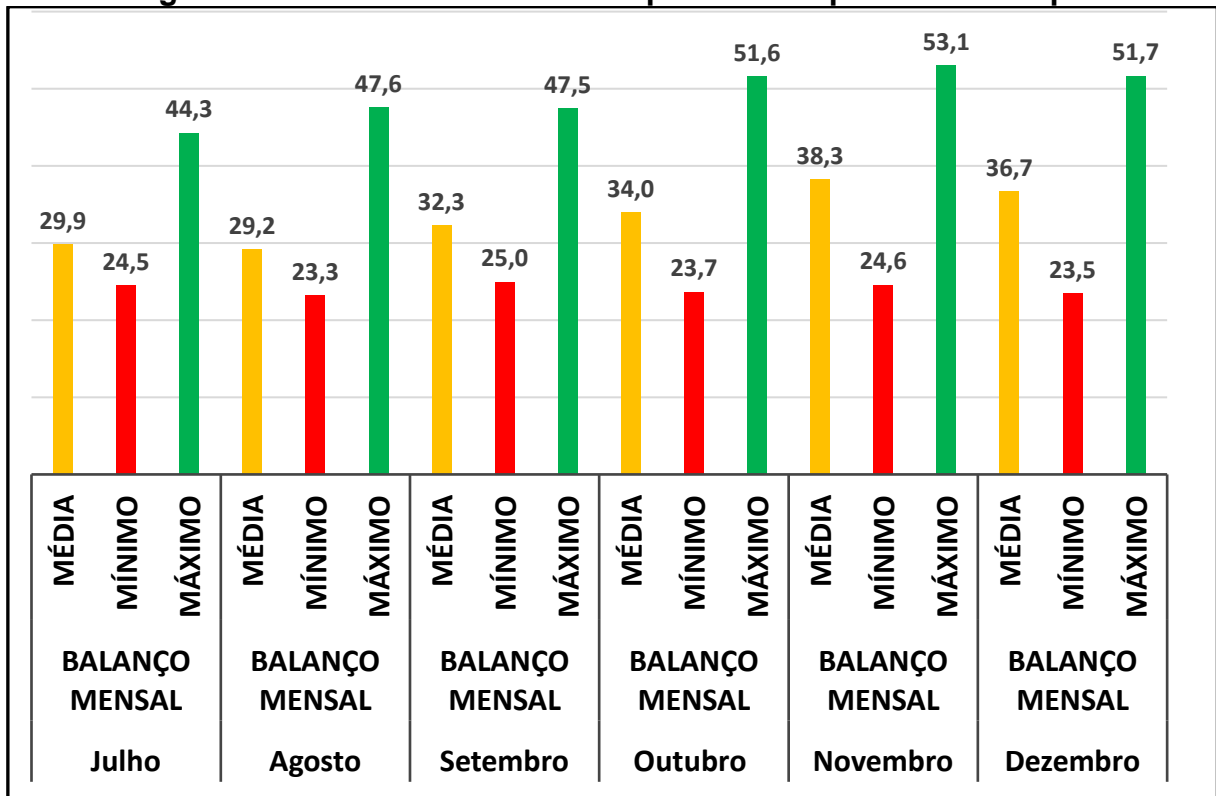
**Figura 25 - Análise mensal da temperatura do ambiente no período vespertino**



Fonte: O autor (2021)

Observa-se que as temperaturas médias e mínimas sofreram aumento em relação aos balanços mensal e mensal matutino. Esse fato é explicado devido ao aumento da incidência solar nas instalações do posto de abastecimento no período vespertino.

**Figura 26 - Análise mensal da temperatura da parede do tanque**

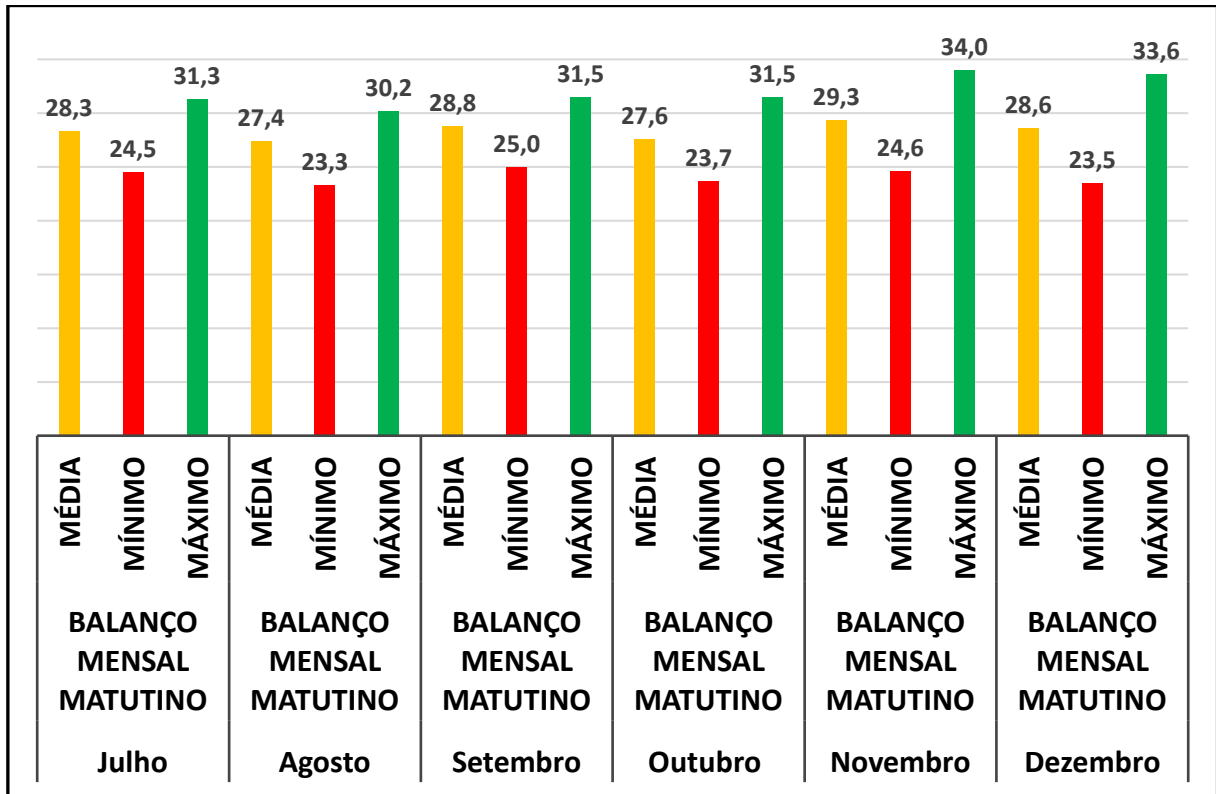


Fonte: O autor (2021)

Observa-se que os balanços mensais apresentaram aumentos gradativos no decorrer dos meses. Isso é justificado pelo aumento das temperaturas máximas.

Além disso, evidencia-se que as temperaturas mínimas são bem próximas quando comparadas entre si e com as temperaturas mínimas da Figura 23, que aborda os balanços mensais da temperatura do ambiente.

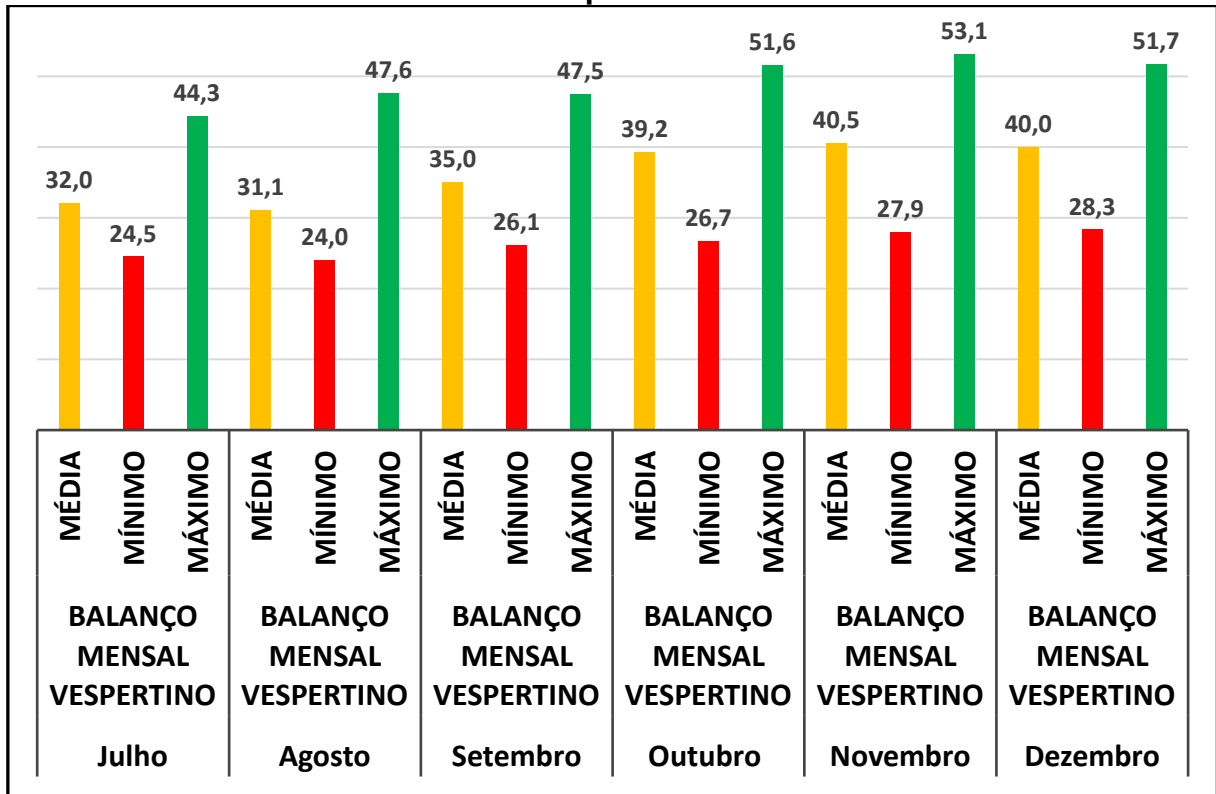
**Figura 27 - Análise mensal da temperatura da parede do tanque no período matutino**



Fonte: O autor (2021)

A maior variação entre as temperaturas máximas foi de 3,8 °C, quando comparam-se os meses de agosto e novembro. Os valores das temperaturas médias sempre estiveram abaixo de 30 °C.

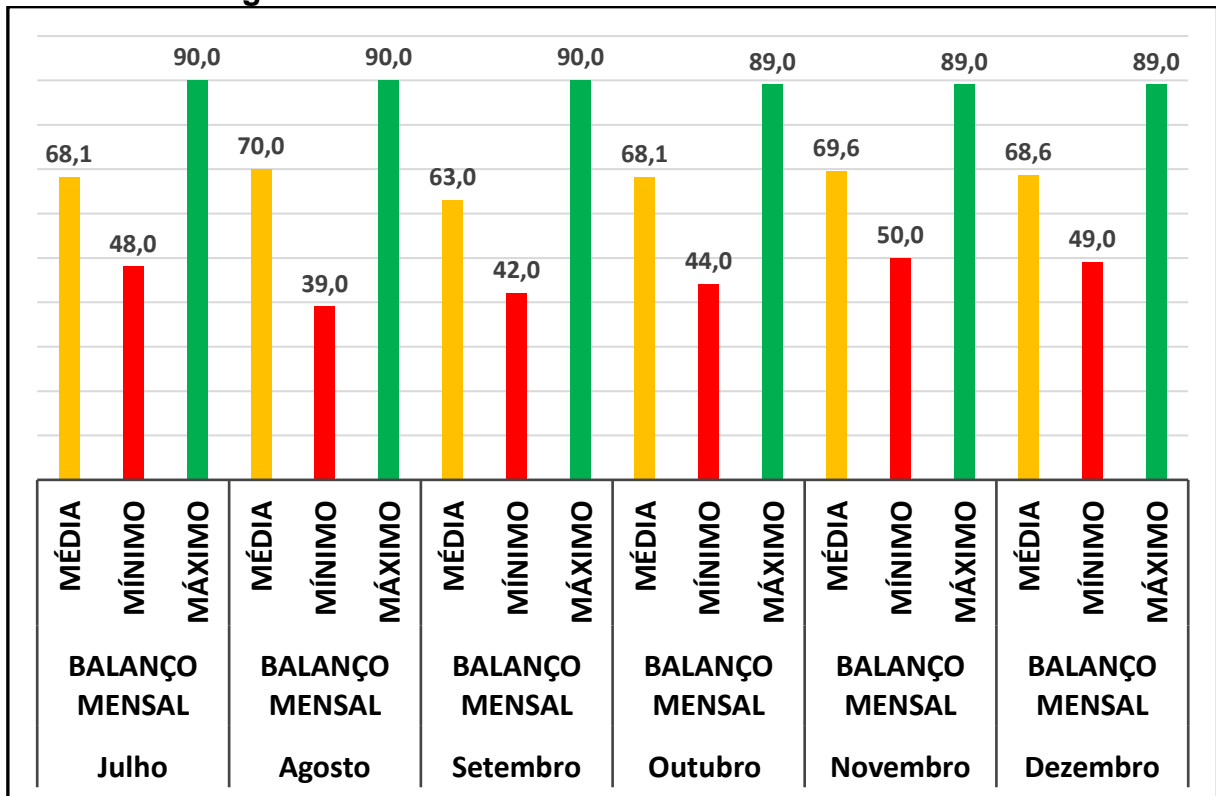
**Figura 28 - Análise mensal da temperatura da parede do tanque no período vespertino**



Fonte: O autor (2021)

É notório perceber que as temperaturas médias e as máximas sofreram grandes aumentos no período vespertino. Dentre os meses estudados, novembro teve os maiores índices.

Figura 29 - Análise mensal da umidade relativa do ar

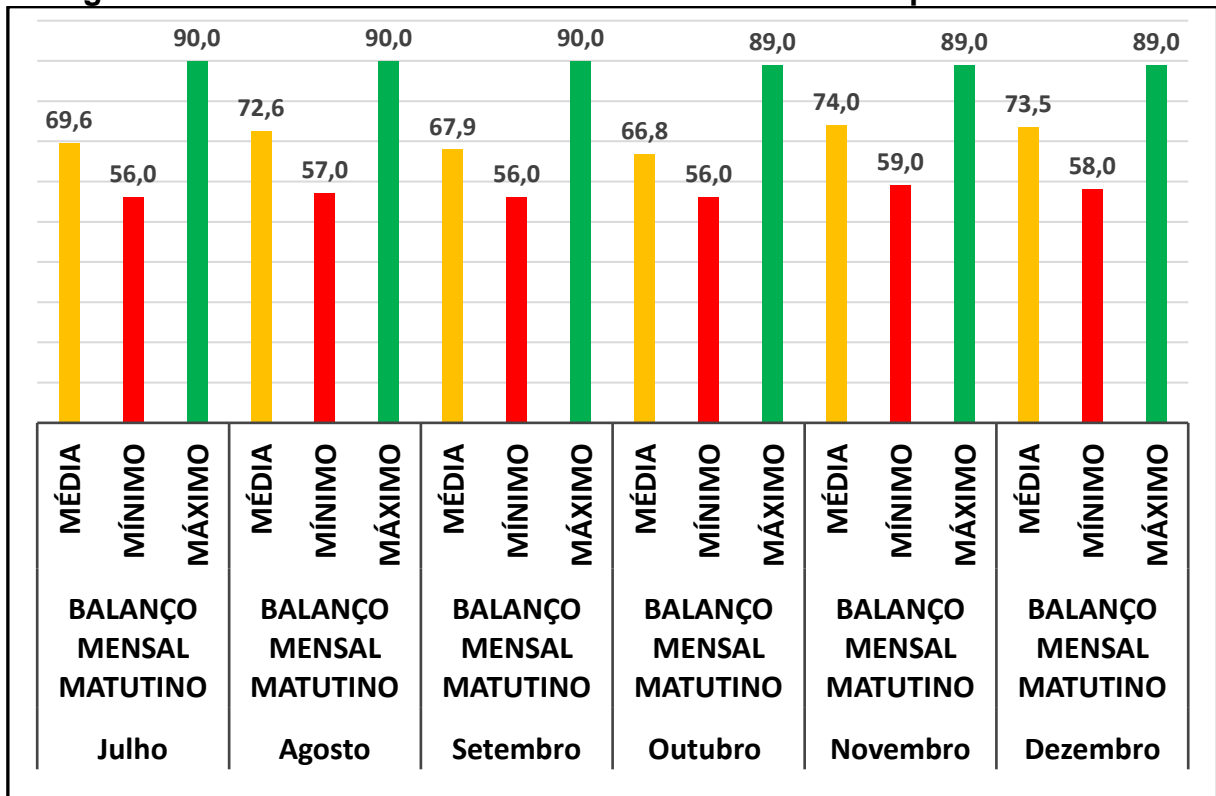


Fonte: O autor (2021)

A variável de umidade relativa do ar apresentou percentuais médios que se concentram entre 63% e 70%, inclusive.

Além disso, observa-se que os percentuais mínimos estão entre 39% e 50%, inclusive, e os máximos foram 89% ou 90%. Dessa forma, comprova-se que o ambiente foi propício às perdas por evaporação em todos os meses.

**Figura 30 - Análise mensal da umidade relativa do ar no período matutino**

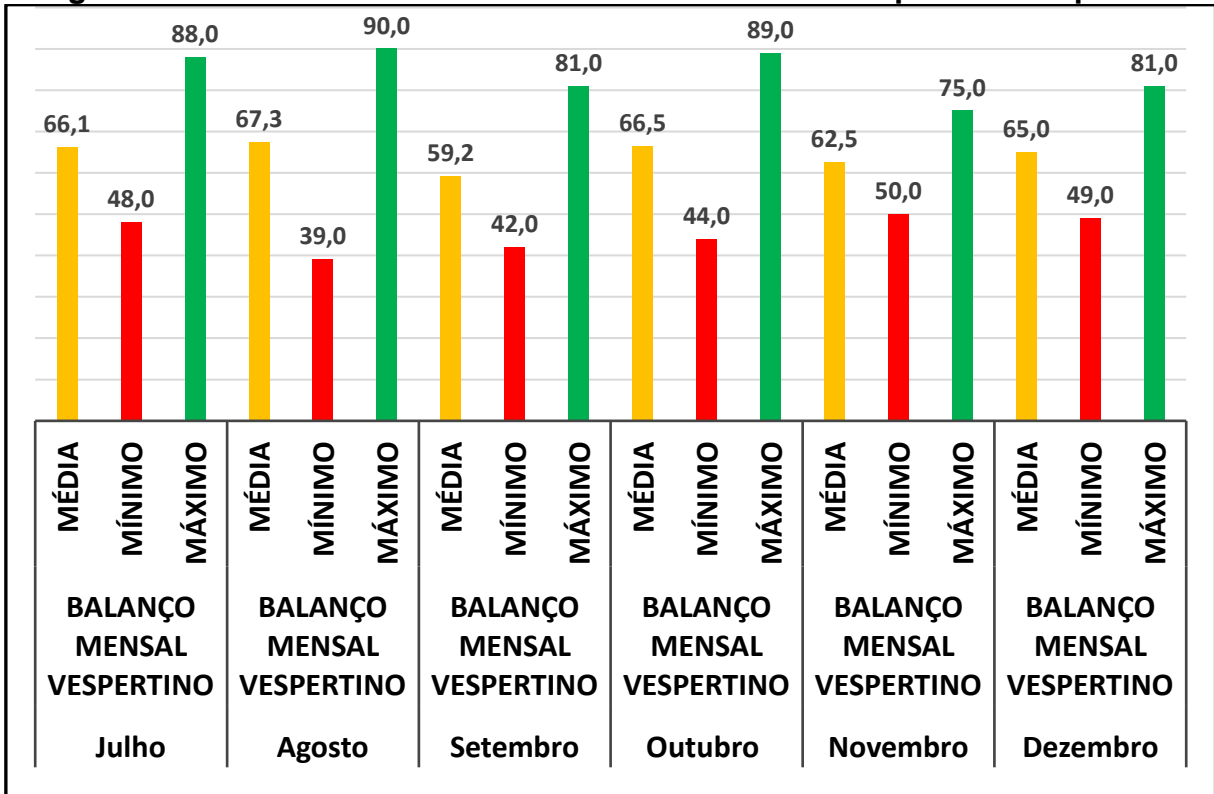


Fonte: O autor (2021)

Com exceção do mês de outubro, as médias dos percentuais aumentaram no período matutino.

Outrossim, os percentuais mínimos aumentaram e concentraram-se entre 55% e 60%.

**Figura 31 - Análise mensal da umidade relativa do ar no período vespertino**



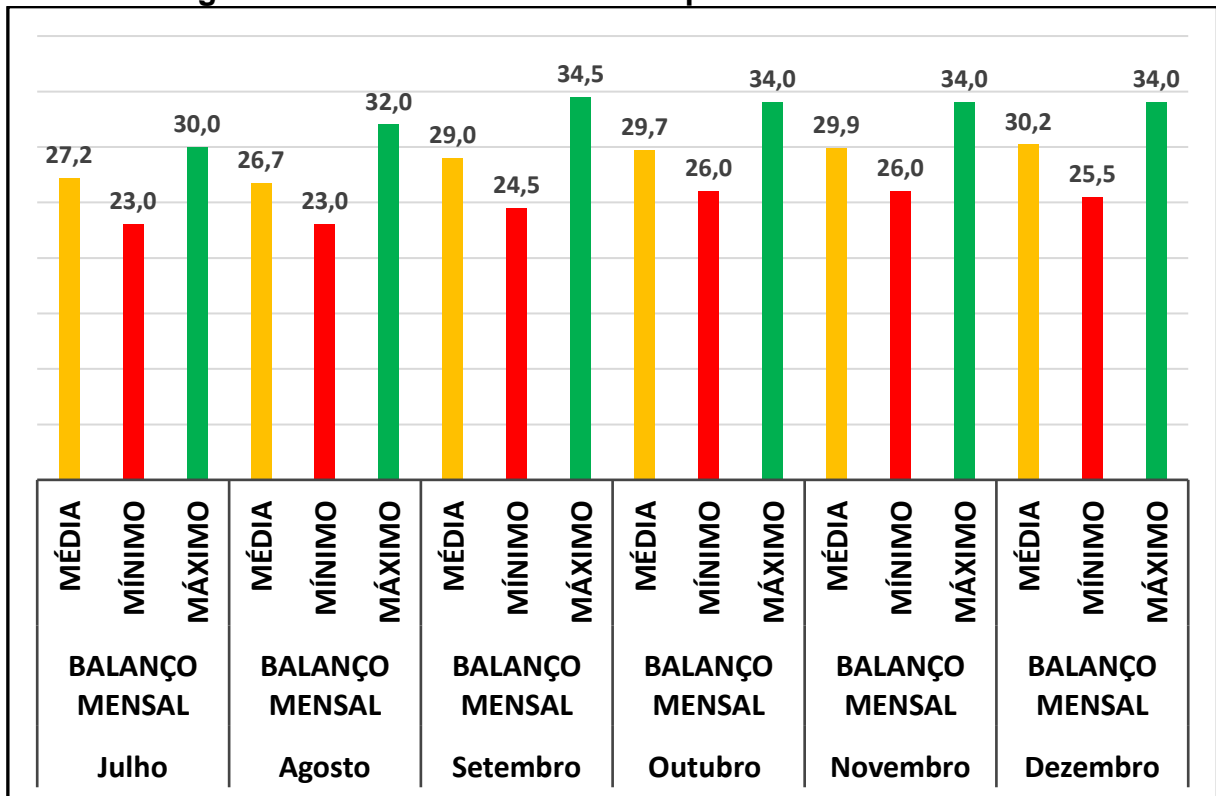
Fonte: O autor (2021)

Com exceção do mês de setembro, as médias dos percentuais se concentraram entre 60% e 70%.

Além disso, os percentuais mínimos aumentaram e ficaram dispostos entre 39% e 50%, inclusive. No que diz respeito aos percentuais máximos, o mês de setembro foi o de menor índice com 75%. Diante disso, pode-se inferir que o período vespertino demonstra ser o mais propício às perdas por evaporação e, portanto, o menos indicado para haver abastecimentos da frota e entradas de gasolina no tanque.



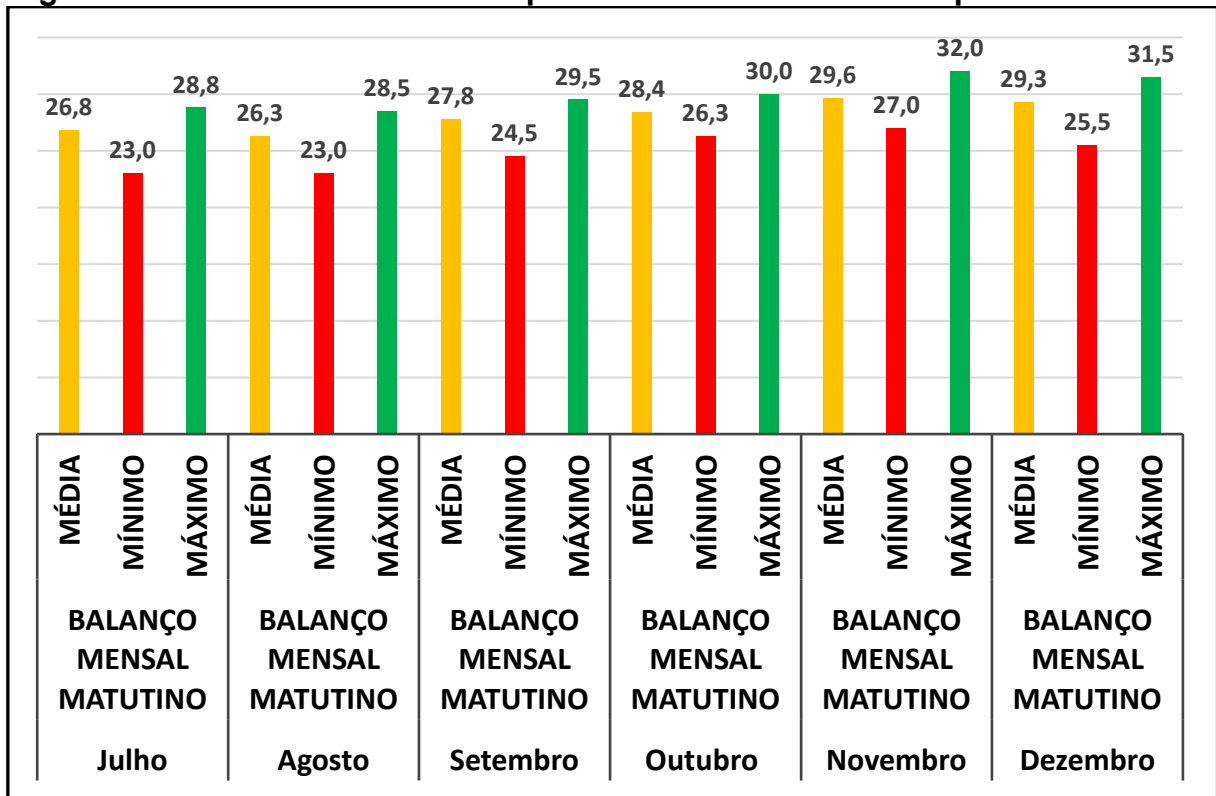
**Figura 32 - Análise mensal da temperatura do combustível**



Fonte: O autor (2021)

Os balanços mensais mostram que a gasolina sempre atingiu temperaturas próximas aos 30 °C, apontando a necessidade da existência de controle das emissões fugitivas no posto de abastecimento.

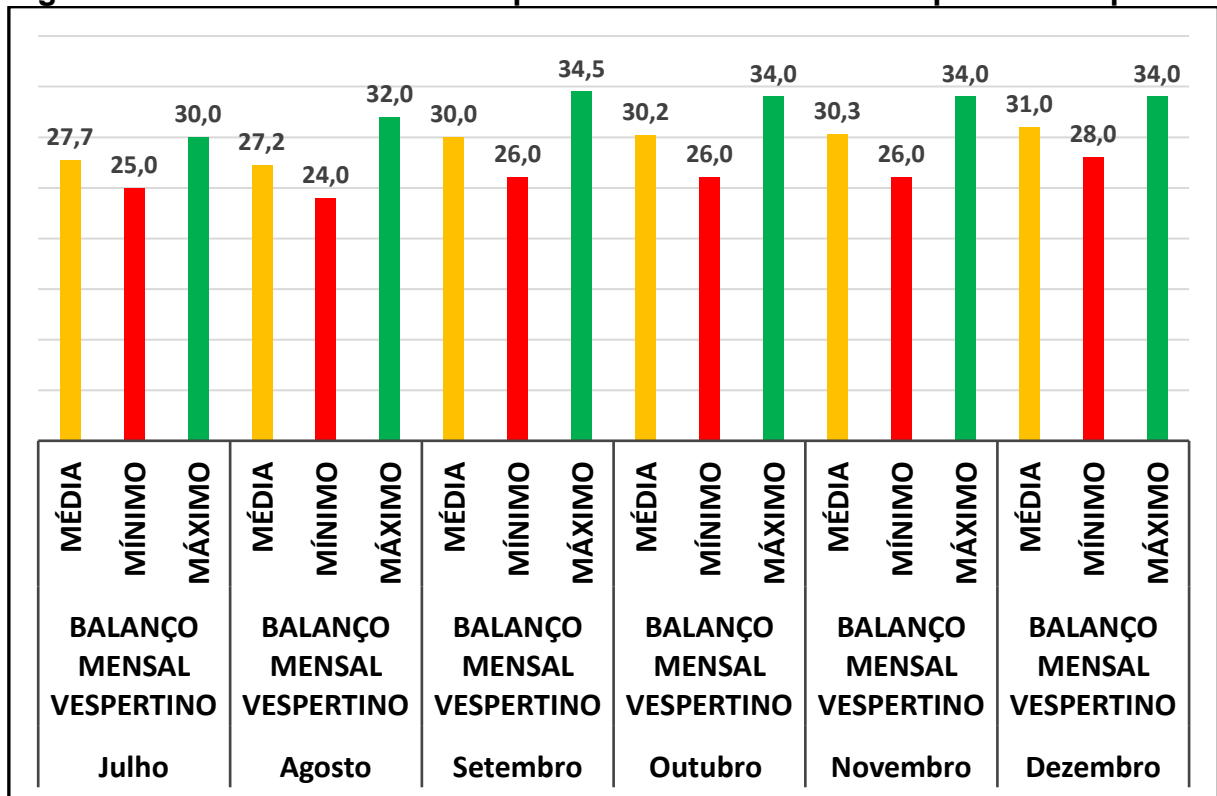
**Figura 33 - Análise mensal da temperatura do combustível no período matutino**



Fonte: O autor (2021)

Observa-se que houve reduções nas temperaturas médias e máximas mensais de todos os meses no período matutino, além de ser o intervalo temporal com histórico de menores médias de temperaturas. Diante disso, ratifica-se a inferência de que o período matutino é o mais indicado para movimentações (entradas e saídas) de combustível.

**Figura 34 - Análise mensal da temperatura do combustível no período vespertino**

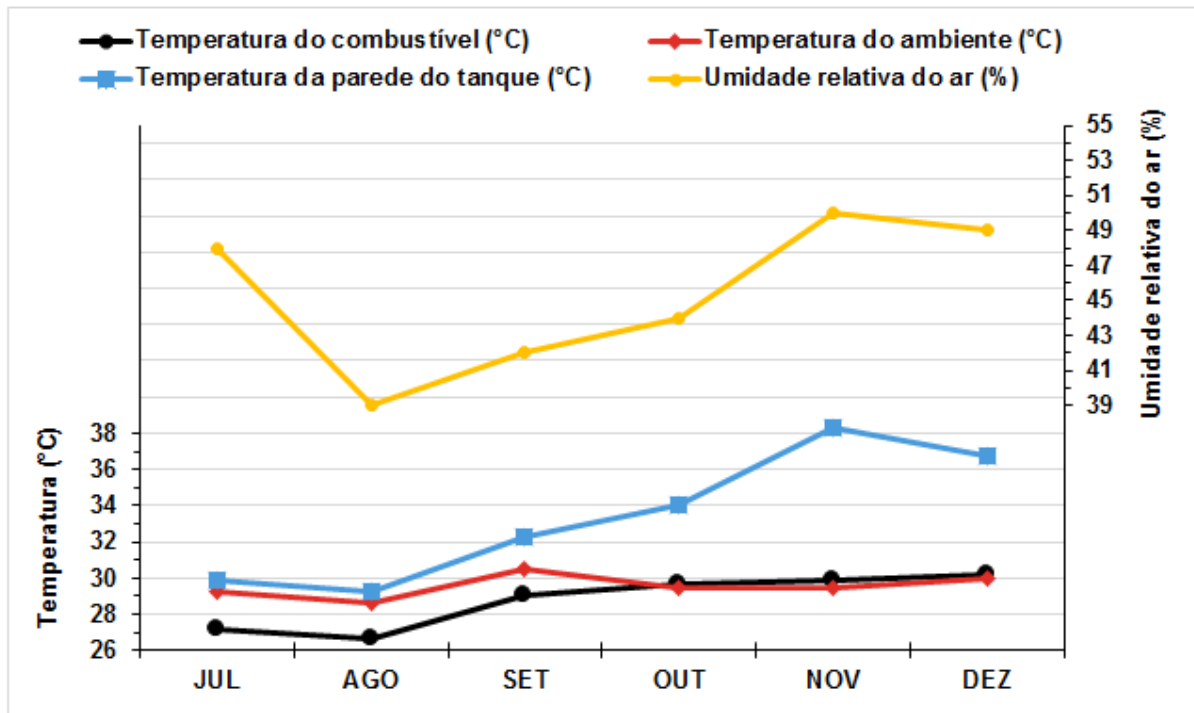


Fonte: O autor (2021)

Quando se compara as Figuras 33 e 34, percebe-se que as temperaturas médias e máximas mensais aumentaram. Contudo, as temperaturas mínimas de outubro e novembro sofreram quedas.

Interpretando todas as figuras dos resultados das quatro variáveis acima, percebe-se que as temperaturas do ambiente, parede do tanque e combustível apresentam os maiores valores no período vespertino e com elevadas variações entre as máximas e mínimas no mês, podendo chegar 9,5 °C, 28,5 °C e 10 °C, respectivamente. O mesmo raciocínio pode ser aplicado para a umidade relativa do ar, onde no período vespertino a variação entre as máximas e mínimas no mês pode chegar a 51%. Com isso, a Figura 35 ilustra o comportamento das temperaturas médias das variáveis coletadas e os percentuais mínimos da umidade relativa do ar, levando em consideração os balanços mensais.

**Figura 35 - Comportamento das variáveis em relação aos meses analisados**



Fonte: O autor (2021)

Esse cenário de temperaturas elevadas e umidade relativa do ar abaixo de 50% no período vespertino é de extrema instabilidade no controle de gasolina, pois permite a dilatação do combustível nos horários de altas temperaturas, aumento na concentração de gases no interior do tanque e, por consequência, aumento provisório no volume. Assim, é de extrema importância salientar que, caso o posto de abastecimento não seja dotado de válvula de retenção dos gases ou problemas nesse item, os gases formados pelo aumento de temperatura não terão a saída controlada, serão expostos de forma imediata à atmosfera e afetarão a taxa de evaporação do combustível.

A Tabela 4 sintetiza as movimentações de gasolina a cada mês.

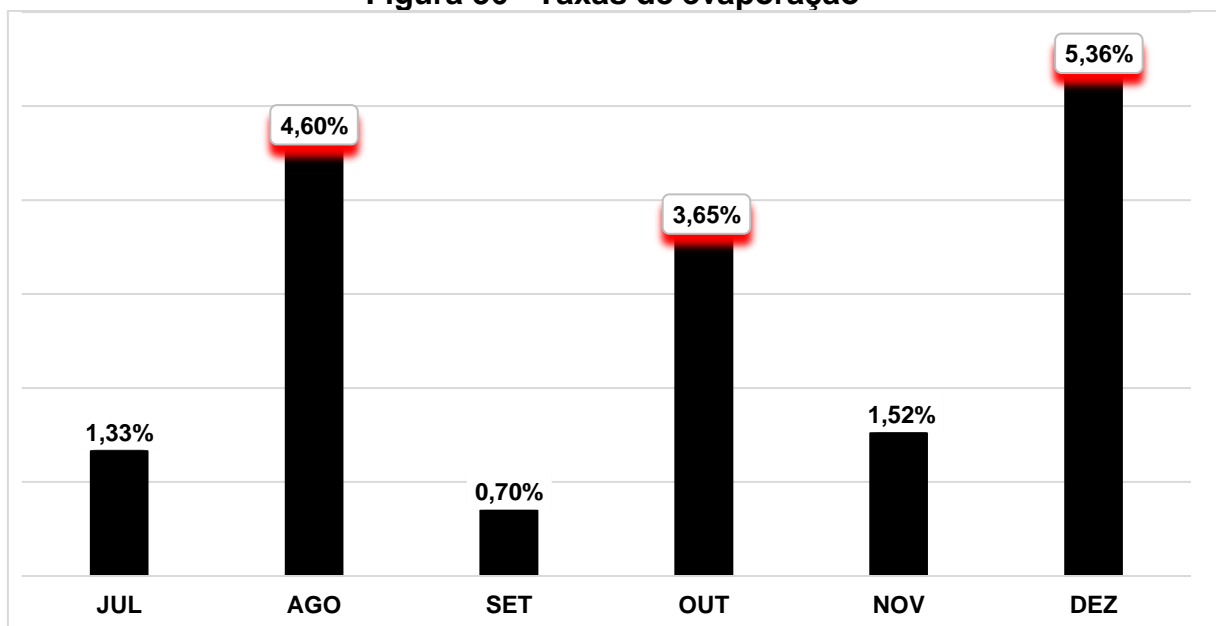
**Tabela 4 - Movimentações mensais de combustível**

Mês	Volume inicial de combustível (L)	Entrada de combustível (L)	Perdas na entrada de combustível (L)	Diferença entre estoques físico e escriturado (L)
Julho	8.426	0	0	47
Agosto	6.156	5.000	101	160
Setembro	8.033	0	0	51
Outubro	9.464	5.000	99	157
Novembro	5.871	0	0	77
Dezembro	2.463	5.000	100	135

Fonte: O autor (2021)

A Tabela 4 comprova a existência de perdas nas entradas de gasolina, corroborando os estudos de Pereira; Gomes; Oliveira (2008). Tais perdas têm valores de 101 litros (agosto), 99 litros (outubro) e 100 litros (dezembro) e serão tratadas como evaporação. Essa variação a menor de volume na entrada de combustível no tanque de armazenamento assumiu o comportamento de uma constante com valor aproximado de 2% do volume recebido, ou seja, 2% de cinco mil litros.

Na Figura 36, estão identificadas as taxas de evaporação, expressas em porcentagem de volume de gasolina consumida, encontradas de julho a dezembro de 2021 no posto de abastecimento estudado, que está localizado na Região Metropolitana de Recife.

**Figura 36 - Taxas de evaporação**

Fonte: O autor (2021)

A partir da análise em conjunto da Figura 36 e da Tabela 4, é possível estabelecer que, nos meses onde há entrada de combustível no tanque de armazenamento (agosto, outubro, dezembro), a taxa de evaporação sempre é muito superior aos 0,6% da variação do estoque estabelecidos pela NBR 13787, sendo aproximadamente nove vezes o percentual tolerado.

Além disso, no que diz respeito ao mês de julho, a perda por evaporação foi de 1,33%. De acordo com a Figura 32, a maior temperatura coletada do combustível foi de 30 °C. Assim, a taxa de evaporação está acima da encontrada por André (2016) em seus estudos sintetizados na Figura 4, onde se extrai a informação de que quando há armazenamento de gasolina comum sem controle de emissões a evaporação média é 0,846% na temperatura de 30 °C.

Em agosto, a taxa de evaporação foi de 4,60%. De acordo com a Tabela 4 e a Figura 32, houve entrada de combustível e a maior temperatura da gasolina foi 32 °C, respectivamente. A partir daí, é possível realizar uma aproximação com os resultados expostos na Figura 4 e encontrar uma taxa de evaporação média de aproximadamente 1%, a qual é bem menor do que a encontrada neste mês.

Em setembro, a taxa de evaporação foi de 0,7%. Nesse período, segundo a Figura 32, a temperatura média no balanço mensal da gasolina foi 29 °C, ficando próximo do valor de 0,754% encontrado por aproximação na Figura 4.

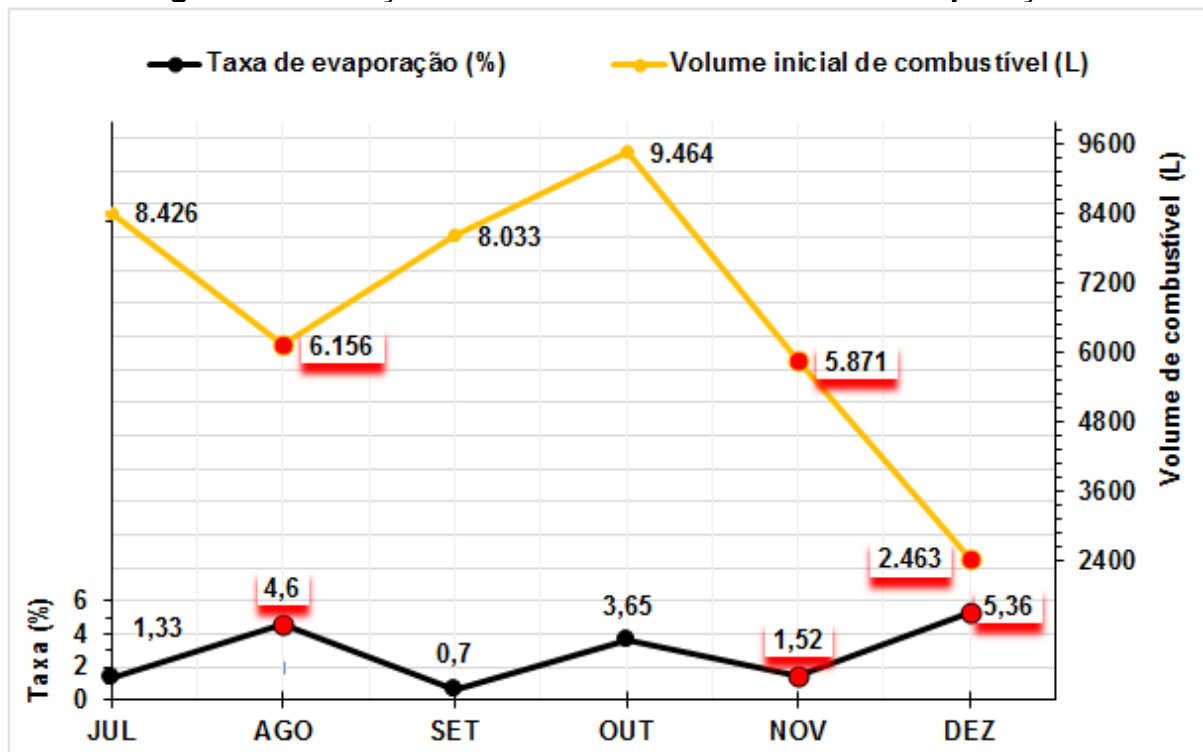
Em outubro, a taxa de evaporação foi a terceira mais elevada, atingindo 3,65%. Conforme a Tabela 4 e a Figura 26, houve entrada de combustível no tanque, começa-se a obter temperaturas de parede do tanque acima de 50 °C e, conseqüentemente, temperaturas médias maiores que nos meses anteriores. Ao realizar uma abordagem na temperatura do combustível, visualiza-se na Figura 32 um aumento na média mensal do combustível em relação aos meses anteriores, contribuindo para aumento da taxa de evaporação da gasolina.

Em novembro, a taxa de evaporação foi de 1,52%. Os pontos interessantes nesse período, além do nível baixo de combustível (Tabela 4), são: aumento nas médias do balanço mensal (Figura 32) e mensal vespertino da temperatura do combustível (Figura 34), o balanço mensal matutino teve a temperatura do combustível com maior média em todos os meses (Figura 33) e a temperatura da parede do tanque teve a maior média e a maior máxima com 38,3 °C e 53,1 °C, respectivamente (Figura 26).

A maior taxa de evaporação encontrada foi de 5,36% em dezembro. Nesse intervalo, percebe-se que da temperatura do combustível apresentou as maiores médias no balanço mensal com 30,2 °C (Figura 32) e no balanço vespertino com 31 °C (Figura 34), as médias mensais da temperatura do ambiente e da temperatura da parede do tanque foram as segundas maiores com 30 °C (Figura 23) e 36,7 °C (Figura 26), respectivamente.

Outra observação importante extraída da Tabela 4 e descrita na Figura 37 é: em meses que o volume inicial de combustível esteve próximo do terço inferior (cinco mil litros), a taxa de evaporação teve percentuais maiores que o dobro do tolerado pela legislação brasileira. Conforme os meses de agosto, novembro e dezembro.

**Figura 37 - Relação entre volume inicial e taxa de evaporação**



Fonte: O autor (2021)

A criação de índices na Engenharia é uma prática comum. Essa ferramenta é capaz de associar duas ou mais variáveis, agilizar consultas em tabelas, inventários e estabelecer parâmetros no controle de processos. Dessa maneira, criou-se o índice  $I_{tvi}$ , que consiste na razão entre a taxa de evaporação de gasolina e volume inicial do tanque de armazenamento, ratificando a ideia de que em meses onde o volume inicial

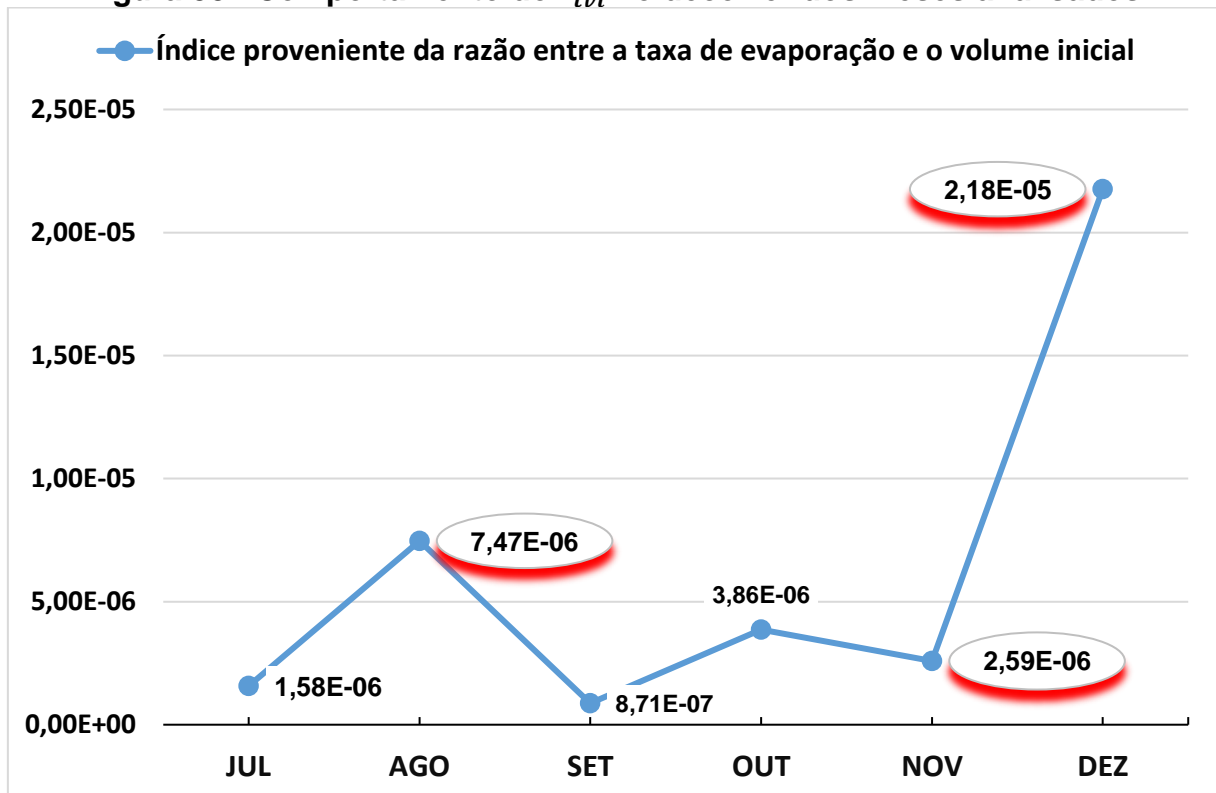
de combustível esteve concentrado próximo ao terço inferior, a taxa de evaporação esteve acima do percentual tolerado pela legislação brasileira.

A Equação 11 foi usada para encontrar o  $I_{tvi}$ .

$$I_{tvi} = \frac{\text{Taxa de evaporação}}{\text{Volume inicial}} \quad (11)$$

O comportamento do  $I_{tvi}$  pode ser visto na Figura 38.

**Figura 38 - Comportamento do  $I_{tvi}$  no decorrer dos meses analisados**



Fonte: O autor (2021)

Observa-se, com a análise da Figura 38, que os valores de  $I_{tvi}$  estão concentrados entre 8,71E-07 e 2,18E-05, inclusive. Dessa maneira, pode-se concluir que o índice  $I_{tvi}$  assumiu valores maiores em meses que a taxa de evaporação foi maior que o percentual tolerado pela legislação brasileira (0,6% da variação de estoque) e o volume inicial de combustível no tanque esteve concentrado no terço inferior, ou seja, em agosto, novembro e dezembro.

Em posse da relação existente entre o volume inicial do tanque de armazenamento de gasolina e a taxa de evaporação, foi utilizada a função *PREVISÃO* do programa *Excel* para analisar a tendência da taxa de evaporação da gasolina



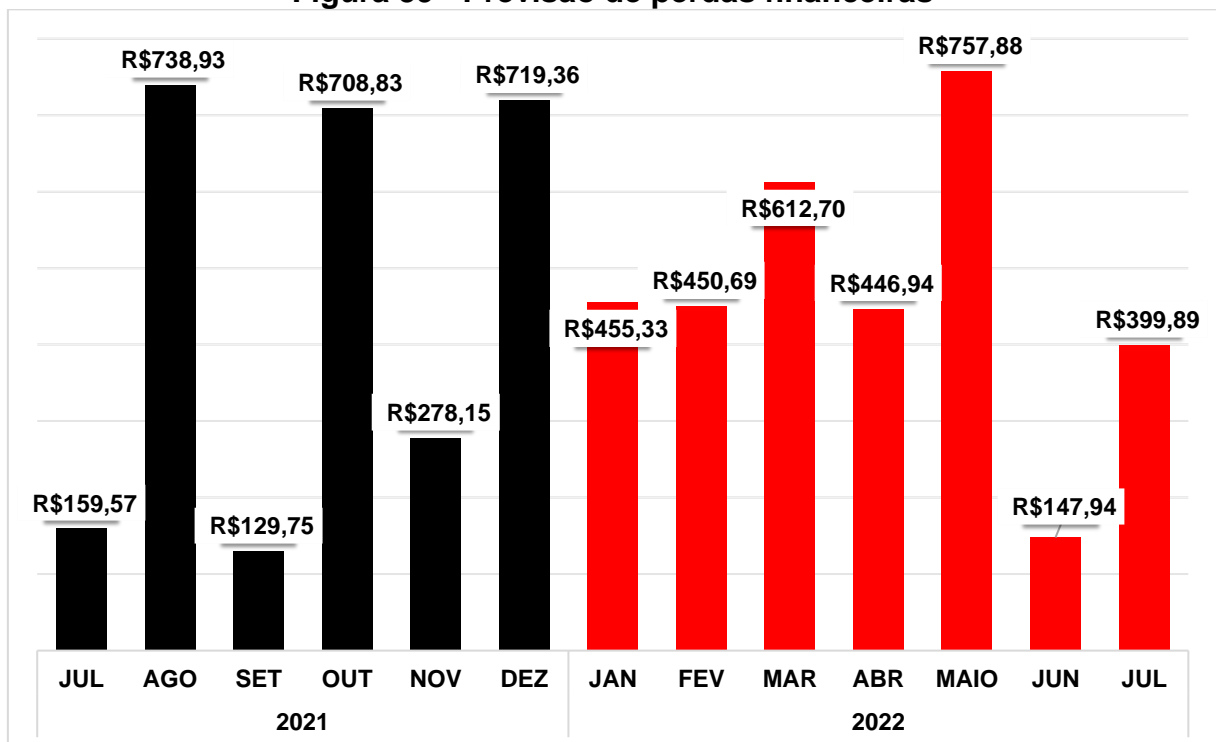
comum. A referida função calcula, ou prevê, um valor futuro usando valores existentes. O valor previsto é um valor de  $y$  (taxa de evaporação de gasolina) para um determinado valor de  $x$  (volume inicial de combustível). Os valores conhecidos são oriundos de  $x$  e de  $y$  existentes, e o novo valor é previsto através da regressão linear. A equação para a função *PREVISÃO* é  $a + bx$ , onde  $a$  e  $b$  seguem as formulações 12 e 13:

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (12)$$

$$b = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sum(x-\bar{x})^2} \quad (13)$$

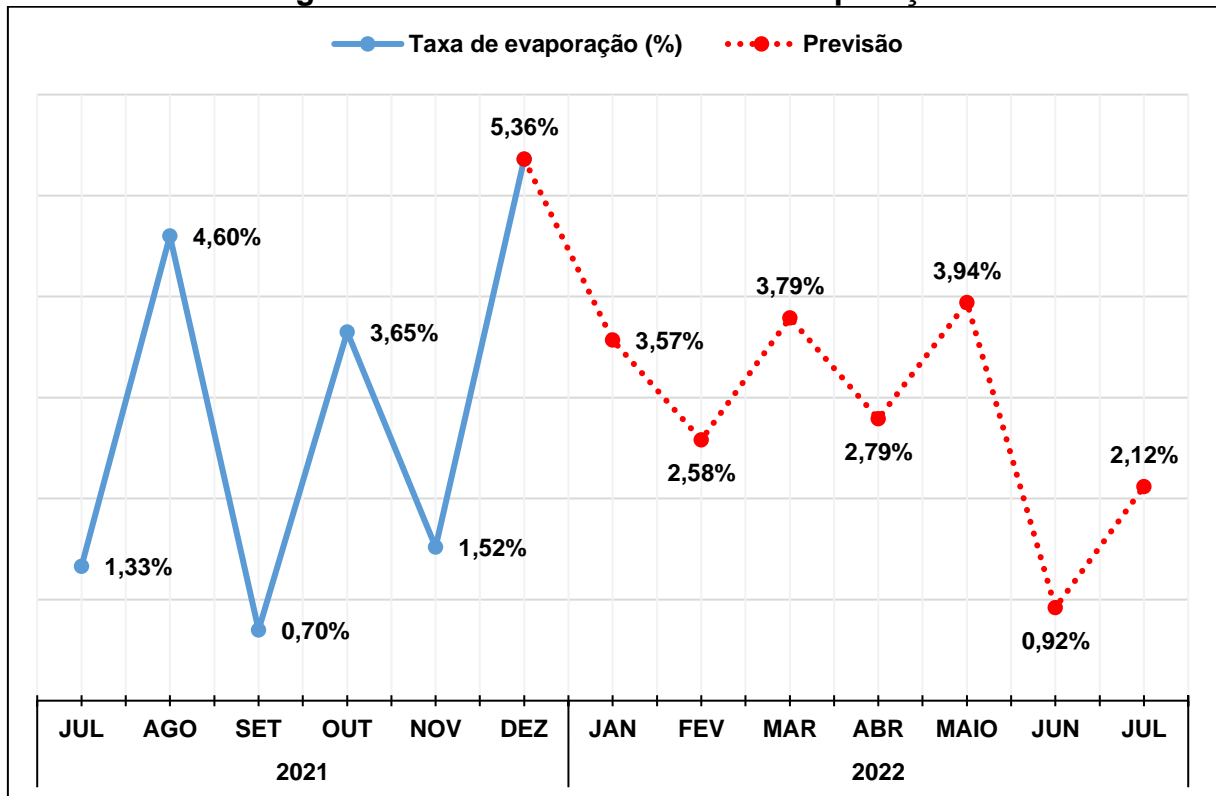
As Figuras 39 e 40, trazem previsões de perda financeira agregada e de taxa de evaporação até julho de 2022, respectivamente.

**Figura 39 - Previsão de perdas financeiras**



Fonte: O autor (2021)

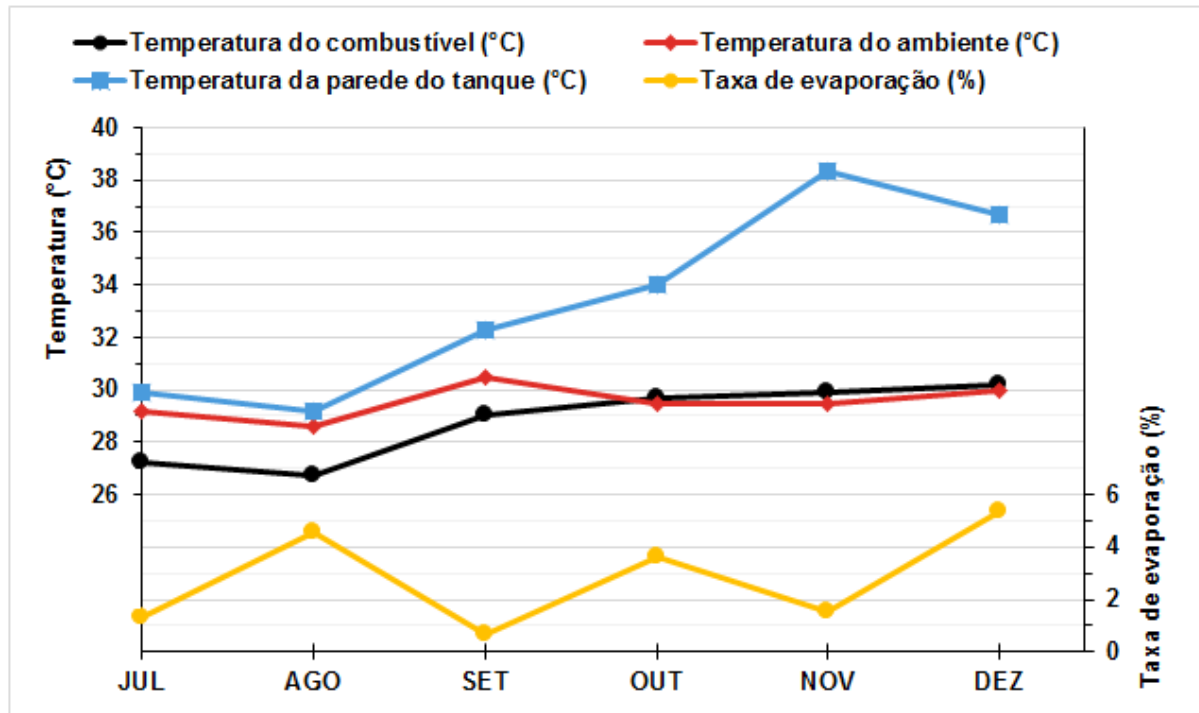
**Figura 40 - Previsão das taxas de evaporação**



Fonte: O autor (2021)

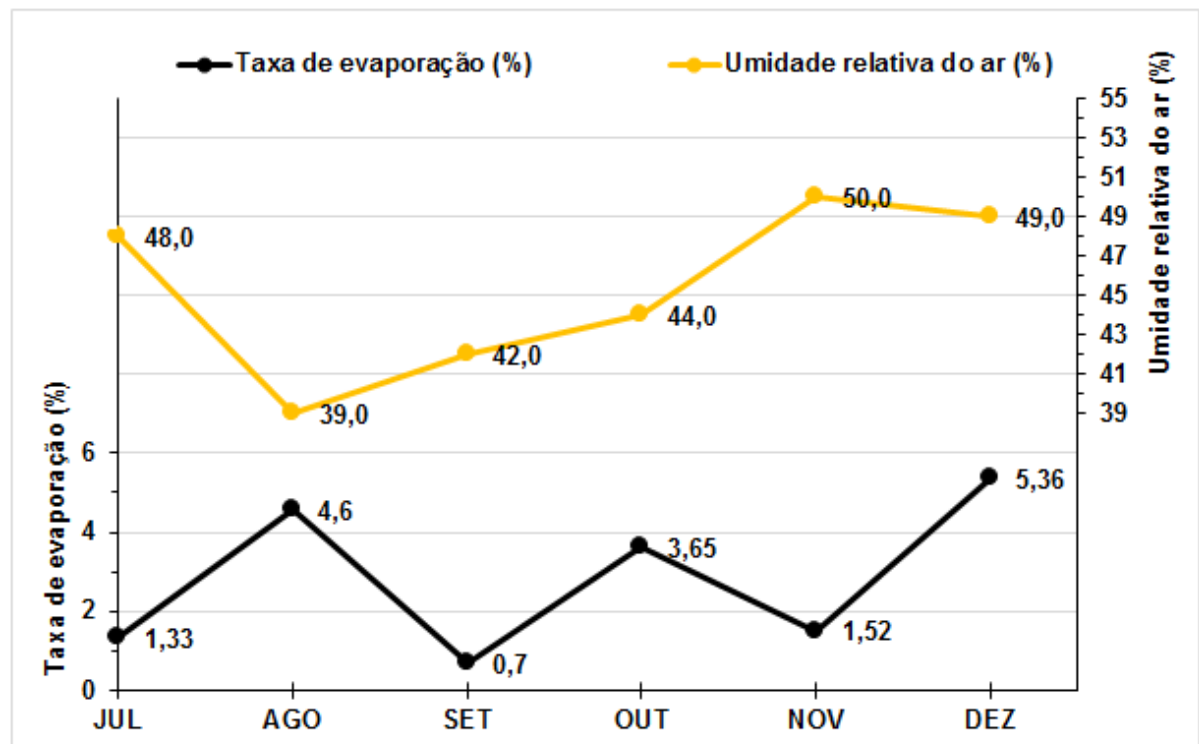
Por fim, percebe-se indícios de que as temperaturas médias do ambiente, da parede do tanque e do combustível próximas ou superiores a 30 °C e os percentuais de umidade relativa do ar abaixo de 50% influenciam na taxa de evaporação da gasolina em um posto de abastecimento na Região Metropolitana de Recife. Com isso, as Figuras 41 e 42 têm como objetivo demonstrar o comportamento das variáveis coletadas sob a perspectiva da taxa de evaporação.

**Figura 41 - Comportamento das temperaturas médias em relação à taxa de evaporação**



Fonte: O autor (2021)

**Figura 42 - Comportamento da umidade relativa do ar em relação à taxa de evaporação**



Fonte: O autor (2021)

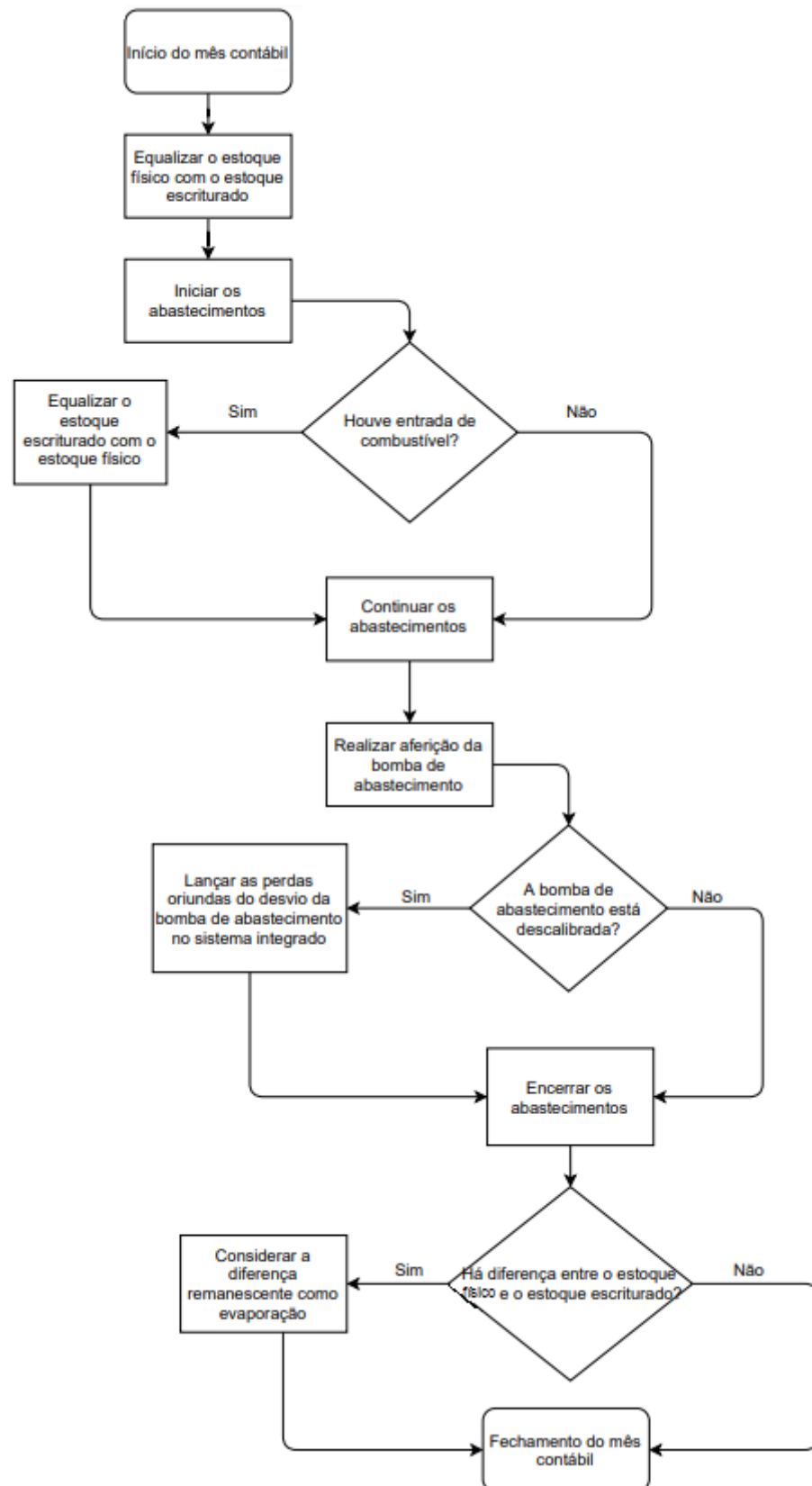
Após serem observadas sucessivas divergências entre o volume real de gasolina armazenada no tanque atmosférico aéreo horizontal e o volume presente no sistema de controle integrado do combustível desde 2017, ano de início de operação do posto de abastecimento, fez-se necessário propor uma metodologia capaz de minimizar de forma eficiente a diferença de volume entre os estoques físico e escriturado e caracterizar a verdadeira taxa de evaporação para tanques atmosféricos aéreos horizontais na Região Metropolitana de Recife.

Em síntese, a proposta consiste em:

- Iniciar e encerrar cada mês contábil com o mesmo volume no sistema integrado de controle de combustível e o estoque físico;
- Descontar a perda por evaporação nas entradas de combustível no tanque de armazenamento, conforme cada volume de combustível descarregado no posto de abastecimento;
- Caso evidencie-se a descalibração da bomba de abastecimento, deve-se descontar esse percentual de perda no sistema de controle integrado de estoque logo após o último abastecimento do mês contábil para cada abastecimento realizado e providenciar, urgentemente, a calibração da bomba de abastecimento.

Diante disso, a Figura 43 apresenta um fluxograma com detalhamento da metodologia sugerida para quantificar as perdas por evaporação de gasolina.

Figura 43 - Proposta para minimizar a diferença entre estoques



Fonte: O autor (2021)

## 5 CONCLUSÕES

Este Trabalho de Conclusão de Curso pretendeu analisar a taxa de evaporação da gasolina original comum C fornecida pela Ipiranga Produtos de Petróleo S.A. e armazenada em tanques atmosféricos aéreos horizontais localizados na Região Metropolitana de Recife com o objetivo de justificar que esta perda de combustível é superior aos 0,6% da variação do estoque estabelecidos na legislação brasileira para tanques subterrâneos, a partir de medições do nível de gasolina no tanque, temperatura do ambiente, combustível e parede do tanque com maior incidência solar, umidade relativa do local e quantidade de combustível movimentado.

Com vistas a atingir uma compreensão do desenvolvimento da metodologia para quantificar as perdas por evaporação da gasolina armazenada em tanques atmosféricos aéreos horizontais e minimizar diferenças de volume entre o estoque físico e o estoque escriturado, foi necessário efetuar uma pesquisa bibliográfica das regulamentações existentes para armazenagem de combustíveis e líquidos inflamáveis, realizar o levantamento do histórico das perdas por evaporação de gasolina através de análise estatística, elaborar um estudo capaz de caracterizar a taxa evaporação da gasolina comum em um posto de abastecimento em função da temperatura e percentuais de umidade relativa do ar e propor novos padrões para o controle de estoque de gasolina comum em tanques de armazenamento atmosféricos aéreos horizontais localizados na Região Metropolitana de Recife.

Com isso, percebe-se que as temperaturas do ambiente, das paredes do tanque de armazenamento e do combustível influenciam na taxa de evaporação da gasolina quando os levantamentos das temperaturas médias mensais são próximos ou superiores a 30 °C, assim como, quando os percentuais de umidade relativa do ar atingem valores menores que 50% no decorrer do dia em um posto de abastecimento localizado na Região Metropolitana de Recife.

Além disso, notou-se perdas por evaporação quando se tem entrada de gasolina no tanque de armazenamento. Em meses com recebimento de combustível, a taxa de evaporação na entrada de gasolina atingiu o percentual de 2% do volume de combustível recebido.

Outra informação importante é: à medida que o nível de combustível no tanque de armazenamento atmosférico aéreo horizontal se aproxima do terço inferior, a taxa de evaporação tende a aumentar.

Por fim, a taxa de evaporação do combustível estudado apresentou os seguintes índices: 1,33% do consumo em julho, 4,60% do consumo em agosto, 0,7% do consumo em setembro, 3,65% do consumo em outubro, 1,52% do consumo em novembro e 5,36% do consumo em dezembro.

### **5.1 Recomendações para detentores de postos de abastecimento**

Ao analisar o problema de forma abrangente, é possível delinear as seguintes sugestões mitigadoras:

- A cobertura das instalações do posto de abastecimento deve ter no mínimo 5 (cinco) metros de altura, ser perpendicular ao solo e a projeção das divisas laterais deve ter no mínimo três metros;
- O tanque de armazenamento sempre deve estar pintado com o objetivo de oferecer resistência à troca de calor e à corrosão das estruturas;
- É necessário estabelecer rotina de inspeções/manutenções para todo *skid* de abastecimento, com alta priorização à válvula de respiro;
- Caso haja algum vazamento de combustível ou vapor de gasolina, por menor que seja, deve ser imediatamente sanado, pois será um ponto de saída descontrolada de combustível líquido ou vaporizado;
- Os abastecimentos da frota devem ser concentrados, preferencialmente, no período matutino. Essa medida pode ser adotada para minimizar as perdas por evaporação nas saídas de gasolina, tendo em vista que os percentuais de umidade relativa do ar, as temperaturas do combustível, parede do tanque e ambiente não serão muito favoráveis à evaporação de gasolina quanto no período vespertino;
- A incidência de sol nos postos de abastecimento deve ser evitada, pois borrachas, conjunto sistema medidor de volume eletrônico e mangueiras têm deterioração acelerada em temperaturas acima de 50 °C;
- O telhado deve estar acompanhado de algum isolante térmico abaixo das telhas para dificultar a troca de calor das telhas com o combustível;
- Antes da construção do posto de abastecimento, é necessário realizar um estudo geográfico que englobe as vantagens naturais do ambiente,

dentre elas, os ventos predominantes do local. Dessa forma, a refrigeração do ambiente terá apoio da convecção natural;

- O recebimento de combustível das distribuidoras deve ser evitado quando o nível do volume de gasolina estiver abaixo do terço inferior e a temperatura do local estiver acima de 30 °C, pois o volume de gasolina vaporizada no tanque será alto e, conseqüentemente, as perdas por evaporação serão maiores. Assim, sugere-se que o nível mínimo do volume de gasolina em um tanque atmosférico aéreo horizontal seja cinco mil litros;
- O nivelamento do tanque de armazenamento de combustíveis é essencial para a correta leitura do volume de líquido e a ausência desse critério gera divergências na medida de volume entre o estoque físico e o estoque contábil, pois os maiores erros em medições do nível de combustível surgem pelo fato do tanque estar inclinado.

## 5.2 Recomendações para trabalhos futuros

O levantamento e o tratamento dos dados foram etapas difíceis durante a realização deste trabalho. Em função da indisponibilidade de tempo para conclusão deste estudo, recomenda-se para o futuro as seguintes abordagens:

- Continuar com o uso da metodologia proposta para reduzir a diferença entre o estoque físico e o escriturado, com a finalidade de validar o processo de quantificação de perdas por evaporação;
- Realizar medições durante todos meses do ano para verificar novos comportamentos das variáveis e tentar mapeá-las;
- Incorporar uma modelagem CFD, tendo em vista propor reduções possíveis de transferência de calor, como por exemplo, aumentar a cobertura e implantar isolamento no teto do posto de abastecimento;
- Criar modelo de *Machine Learning* para acelerar a determinação da taxa de abastecimento.



## REFERÊNCIAS

ANDRÉ, Thiago da Silva. **Taxa de evaporação de combustíveis em função da temperatura: análise termoeconômica aplicada a postos de serviços do RN.** Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2016, p.129.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 13787: **Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis – Procedimento de controle de estoque dos sistemas de armazenamento subterrâneo de combustíveis(SASC).** Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15461: **de líquidos inflamáveis e combustíveis – Construção e instalação de tanque aéreo de aço-carbono.** Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15594-1: **Procedimentos de operação em postos de combustíveis – Posto revendedor de combustível veicular (serviços).** Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 17505-1: **Armazenamentos de líquidos inflamáveis e combustíveis.** Rio de Janeiro, 2013.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP. **Boletim de combustíveis e qualidade de produtos**, primeiro semestre de 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins-anp/arquivos-boletim-de-biocombustiveis-e-qualidade-de-produtos/boletim-sbq-2021.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2021.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP. Resolução ANP n.º 807 de 23 de janeiro de 2020. **Estabelece a especificação da gasolina de uso automotivo e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos agentes econômicos que comercializarem o produto em todo o território nacional.** Diário Oficial, Brasília, 23 jan. 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-n-807-de-23-de-janeiro-de-2020-239635261>. Acesso em 28 nov. 2021.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Portaria DIRAD n.º 14/1ab5, de 7 de abril de 2020. **Aprova a edição do MCA 75-1E, que dispõe sobre as atividades do Sistema de Transporte de Superfície do Comando da Aeronáutica.** Boletim do Comando da Aeronáutica, Rio de Janeiro, n. 062, de 14 de abr. de 2020. Disponível em: <https://www.sislaer.fab.mil.br/terminalcendoc/Busca/Download?codigoArquivo=4579>. Acesso em 18 ago. 2021.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando do Exército. Boletim Técnico EB40-BT-30.500-01 de 28 de janeiro de 2022. **Diminuir dúvidas e normatizar os procedimentos relativos à taxa de evaporação de combustível pelas Organizações Militares/Postos de Abastecimento (OM/PA) no âmbito do Exército Brasileiro.** Disponível em:

<http://www.dabst.eb.mil.br/index.php/classes/category/65-2-controle-de-qualidade?download=644:2-15-bt30-500-01-taxa-de-evaporacao-de-combustivel>. Acesso em 18 fev. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n.º 273, de 29 de novembro de 2000. **Estabelece diretrizes para o licenciamento ambiental de postos de combustíveis e serviços e dispõe sobre a prevenção e controle da poluição.** Diário Oficial União, Brasília, 29 nov. 2000.

Disponível em:

[http://www2.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA\\_RES\\_CONS\\_2000\\_273.pdf](http://www2.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_2000_273.pdf). Acesso em 25 nov. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n.º 382, de 26 de dezembro de 2006. **Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas.** Diário Oficial União, Brasília, 26 dez. 2006. Disponível em:

[https://www.confor.com.br/upload/produtos/itens/resolucoes\\_conama\\_382-2006\\_20181120142747.pdf](https://www.confor.com.br/upload/produtos/itens/resolucoes_conama_382-2006_20181120142747.pdf). Acesso em 25 nov. 2021.

ÇENGEL, A. Yungus.; GHAJAR, J. Afshin. **Heat and Mass Transfer: Fundamentals and applications.** 4. ed. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2011.

HASSANVAND, A.; HASHEMABADI, S. H.; BAYAT, M. **Evaluation of gasoline evaporation during the tank splash loading by CFD techniques.** International Communications in Heat and Mass Transfer, v. 37, n.7, p. 907-913, 2010.

IPIRANGA PRODUTOS DE PETRÓLEO S.A – **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico – FISQ. Gasolina Original Comum C.** FISPQ N.º 362. Data última revisão: 25/05/2017.

J. Zheng; T. Zhu; R. Zhang; M.Wang; C. Chang; M. Shao; M. Hu. **Characterization of gas station emissions Characterization of gas station emissions during the CARE Beijing 2008 field study Characterization of the gas station emissions.** Atmos. Chem. Phys. Discuss, v.11, p. 14719-14746, 2011.

SOUZA, A. M. **Estudo de emissões de vapores no carregamento de gasolina em caminhões-tanque.** Dissertação ( Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologia Ambiental no Processo Produtivo) Universidade Federal da Bahia. 2004, 165 p.

V.A Sereda, Yu. M. Pimenov, and A. V. Ulit'ko. **Forecasting Evaporation of motor fuels under long term storage.** Chemistry and Technology of Fuels and Oils, Vol.57, No.1, March, 2021 (Russian Original No.1, January – February, 2021).

Zinke R., Virothi N., Köhler F., Klippel A., Schalau S., Krause U. **Experimental measurement of initial evaporation mass flows from gasoline spills and comparison with empirical models.** Proc Safety Prog. 2020;39:e12128. <https://doi.org/10.1002/prs.12128>.

## ANEXO A

A seguir serão apresentados todos os dados coletados durante todo o experimento.

JULHO DE 2021						
Data	Hora	Temperatura do ambiente em julho (°C)	Temperatura da parede do tanque em julho (°C)	Umidade relativa do ar em julho (%)	Temperatura do combustível em julho (°C)	Volume (L)
30/jun	12:50	30,2	29,9	66	27,5	8426
01/jul	08:00	27,8	27,5	78	26	7992
01/jul	10:00	29,5	29,8	69	27,5	7992
01/jul	12:50	31,1	31,9	64	28,5	7962
02/jul	10:00	30,7	31,1	66	28	7961
02/jul	12:50	29,1	29,8	72	28	7961
03/jul	08:00	24,5	24,5	90	23	7961
04/jul	09:00	29,5	30,1	68	27,5	7889
05/jul	09:00	29,4	30	65	27,75	7899
05/jul	13:00	27,8	28,2	77	26,5	7599
05/jul	16:00	31,2	33,3	61	27,5	7650
05/jul	17:30	26,2	26,2	76	26	7702
06/jul	08:00	28,6	28	71	26,5	7692
06/jul	10:00	29,7	30	66	27,5	7677
06/jul	12:30	30,1	29	70	27,5	7474
06/jul	15:00	35,5	42,6	48	30	7474
07/jul	08:00	27,5	27,8	71	26	7474
07/jul	10:00	29,9	29,9	64	27,5	7362
07/jul	12:30	29,4	29,4	67	28	7361
07/jul	15:00	29,9	34,9	58	28,5	7350
08/jul	08:00	28,5	28,5	68	26,5	7319
08/jul	10:00	26,8	27,4	80	26	7319
08/jul	12:30	29,7	29,3	66	27,5	7257
08/jul	15:00	36,2	44,3	59	29,5	7257
09/jul	08:00	29,5	29,1	64	26,5	7257
09/jul	10:00	30,3	29,8	62	28,5	7247
09/jul	11:40	30,3	30,3	64	28,5	7247
09/jul	14:30	32,2	40	58	29,25	7247
10/jul	09:50	28,6	29	69	26,5	7216
11/jul	09:40	30,8	30,3	61	28,75	7216
12/jul	10:14	30,3	28,8	61	28,5	7216

12/jul	13:00	30,3	30,3	61	27,5	7216
12/jul	15:00	30	33,3	65	28,5	7216
12/jul	17:30	27,4	27,6	70	26,5	7185
13/jul	08:00	27	27	74	26	7154
13/jul	10:00	29,7	29,3	61	27,5	7154
13/jul	12:30	29,7	30,1	62	28	6989
13/jul	14:45	30	35,1	60	28	6999
14/jul	08:00	31,3	30,5	65	28	6999
14/jul	10:00	30,3	29,9	63	28	6999
14/jul	12:50	29,9	29,5	68	28	6999
14/jul	14:45	30,1	35,4	71	27,5	6927
15/jul	08:00	30,1	28,6	66	27	6906
15/jul	10:00	30	28,9	65	27,5	6803
15/jul	13:30	29,8	29,1	66	27,5	6803
15/jul	14:35	34,6	43,1	50	29	6803
16/jul	10:11	27,3	26,7	78	25,75	6803
17/jul	10:40	25	24,8	88	24,5	6803
18/jul	11:00	29,3	28,3	70	27,5	6772
19/jul	10:00	27	26,6	83	25,5	6772
19/jul	13:00	26,2	25,9	86	25	6772
19/jul	15:00	26,7	26,5	79	25,5	6638
19/jul	17:40	24,5	24,5	88	29,5	6577
20/jul	07:40	26,1	26,1	71	26	6577
21/jul	08:00	25,5	25,5	85	25	6566
21/jul	10:00	27,5	27,1	71	26,5	6515
21/jul	12:30	28,6	27,9	67	26,5	6474
21/jul	14:00	28,8	28,3	72	27	6474
22/jul	08:00	30,3	28,4	60	27	6474
22/jul	10:00	30,9	28,5	60	27,5	6289
22/jul	12:30	30,9	28,8	60	27,5	6279
22/jul	15:00	33,1	41,8	49	29	6259
23/jul	08:00	24,6	24,6	89	24	6259
23/jul	10:00	27,2	27,2	72	26,5	6218
23/jul	11:30	30,6	29,3	62	28	6156
23/jul	14:00	29	32,6	68	26,75	6156
24/jul	11:00	30,2	29	56	28	6156
25/jul	08:20	27,1	27,5	69	26	6156

AGOSTO DE 2021						
Data	Hora	Temperatura do ambiente em agosto (°C)	Temperatura da parede do tanque em agosto (°C)	Umidade relativa do ar em agosto (%)	Temperatura do combustível em agosto (°C)	Volume (L)
26/jul	14:30	35,5	46,8	45	30,5	6156
27/jul	08:00	26,6	26	80	25	6095
27/jul	10:00	29,6	29,6	74	27	6004
27/jul	12:30	31	30,5	62	28	5932
27/jul	14:00	34,3	43,5	52	31	5932
28/jul	08:00	26,5	25,8	83	25,5	5922
28/jul	10:00	30,1	29,3	67	27,5	5902
28/jul	12:30	31	30	63	28	5902
29/jul	08:00	32,5	29,5	57	27	5902
29/jul	10:00	31,1	30,2	62	28	5841
29/jul	13:30	30,9	30	62	27,75	5614
29/jul	14:20	34,5	47,6	51	30,75	5679
30/jul	08:00	30,7	28,7	64	26,5	5679
30/jul	10:00	30,2	28,8	66	27,5	5648
30/jul	11:40	30,5	29,6	66	27,5	5618
30/jul	16:10	28,3	28,6	68	27	5618
31/jul	15:17	31,3	38,3	56	28	5616
01/ago	14:50	30,9	31,3	64	27,75	5618
02/ago	13:00	26,2	26,2	82	24,5	5588
02/ago	15:00	36	41,9	39	27	5366
02/ago	17:30	24,2	24	83	24,5	4967
03/ago	08:00	23,8	23,8	90	23	4967
03/ago	10:00	28,4	27,8	69	26	4898
03/ago	12:30	28,5	27,8	72	26	4898
03/ago	14:40	30,9	34,7	61	27,5	4898
04/ago	08:00	25	24,7	88	24	4898
04/ago	10:00	25	24,8	86	24	4898
04/ago	12:30	27,6	28	73	25,5	4858
04/ago	14:00	28	29,5	69	26,5	4858
05/ago	08:00	23,6	23,5	90	23	4838
05/ago	11:10	28,7	28	66	26	4759
05/ago	12:32	27,5	27,5	75	25	4720
05/ago	14:10	27,1	28	74	25,5	4720
06/ago	08:00	28,4	27,8	64	26,5	4720
06/ago	10:00	29,3	29,9	60	27	4622
06/ago	11:40	29,8	29,1	62	27,5	4622
06/ago	12:20	29,8	29,4	64	27,75	4622

07/ago	12:00	28,8	28,4	70	26,5	4622
07/ago	13:00	29,5	28,4	60	28	4622
08/ago	12:00	30	29,6	57	27,75	4593
09/ago	13:00	26,1	28,8	89	25	4593
09/ago	15:30	24,7	24,2	90	24	4437
10/ago	10:53	25,5	25,2	89	24	4437
10/ago	15:00	28,8	28,4	72	26,5	4437
11/ago	08:00	23,3	23,3	90	26,5	4437
11/ago	10:00	26,6	26,9	87	25,5	4349
11/ago	12:30	28,7	28,3	75	25,5	4349
11/ago	14:35	25,1	25,1	90	25	4349
12/ago	08:00	25,2	25	87	26	4320
12/ago	10:00	27,8	26,8	77	26	9208
12/ago	13:30	28,9	28,2	68	26,5	9188
12/ago	14:50	31,7	39,9	59	29	9219
13/ago	08:00	26,8	26,1	77	25,5	9188
13/ago	10:00	27,8	26,8	66	26	9188
13/ago	11:35	28,4	27,8	65	27	9137
13/ago	14:10	29,8	35,5	61	29	9137
14/ago	10:25	27,7	27,1	67	26,5	9137
14/ago	12:00	27,8	26,8	73	26,5	9137
15/ago	10:40	28,5	28,1	68	26,5	9137
16/ago	13:00	25,7	26	79	24	9126
16/ago	15:15	33,3	28,6	63	26,5	9024
16/ago	17:25	24,8	24,5	75	24	8931
17/ago	08:00	27,9	26,6	66	26,5	8900
17/ago	10:00	28,6	27,6	65	27	8870
17/ago	12:30	29,3	28	63	27,5	8870
17/ago	14:10	25,8	25,3	80	25	8870
18/ago	08:00	29,7	28,3	61	27,5	8880
18/ago	10:30	29,5	28	64	27,5	8839
18/ago	13:30	29,3	28	65	27,5	8839
18/ago	15:30	27,1	27,1	68	26	8839
19/ago	08:00	25,4	25,4	83	24,5	8839
19/ago	10:00	27,8	27,5	74	26	8767
19/ago	12:30	29,8	29,8	63	27,5	8767
19/ago	14:30	30	34,6	71	28	8767
20/ago	08:00	24,7	25	85	23,5	8736
20/ago	10:30	27,9	27,9	70	27	8653
20/ago	11:40	29,5	28,8	66	26,5	8643
20/ago	13:00	27,4	26,8	72	26,5	8643
21/ago	10:50	28,6	28,9	72	26,5	8622
22/ago	11:00	30,5	29,6	65	28,5	8643

23/ago	08:00	26,3	25,7	82	25,5	8633
23/ago	10:30	28,7	28,4	72	26	8612
23/ago	11:30	29,6	29,2	70	27,5	8612
23/ago	14;15	31,3	39,6	63	32	8581
24/ago	08:00	26,6	26,6	82	25,75	8499
24/ago	10:30	29,1	28,4	66	27,5	8251
24/ago	15:35	31,3	38,6	60	32	8220
25/ago	08:00	28,1	27,5	67	27	8220
25/ago	10:30	29,2	28,8	67	28	8095
25/ago	12:30	29,9	29,9	64	28,5	8033
25/ago	14:18	30,4	37,3	62	29	8033
26/ago	07:50	29,1	28,8	66	27,5	8033

### SETEMBRO DE 2021

Data	Hora	Temperatura do ambiente setembro (°C)	Temperatura da parede do em setembro (°C)	Umidade relativa do ar em setembro (%)	Temperatura do combustível em setembro (°C)	Volume (L)
26/ago	07:50	29,1	28,8	66	27,5	8033
26/ago	10:30	29,4	29,4	67	28	7930
26/ago	12:30	30,3	30,3	61	28,5	7930
26/ago	14:30	31,5	31,8	57	31	7930
27/ago	08:00	27,8	26,8	67	27	7899
27/ago	10:00	29,7	27,2	61	28	7899
27/ago	11:30	30,8	28,4	56	28,75	7906
27/ago	14:00	32	34,1	50	29,75	7806
28/ago	11:30	29,6	29,2	65	28,6	7775
29/ago	11:40	30,1	29,8	72	28,5	7775
30/ago	13:00	30	30	64	28,5	7733
30/ago	15:00	32,2	43,2	80	29,5	7702
30/ago	17:00	27	27,3	69	26,5	4640
31/ago	10:30	30,1	29,3	62	28,5	7547
31/ago	12:30	30,1	29,3	57	28,5	7516
31/ago	14:10	31,1	39,9	55	31	7516
01/set	08:00	28,1	27,4	67	27	7495
01/set	10:00	28,3	28,2	68	27	7299
01/set	12:30	28,1	28,8	65	27	7278
01/set	13:50	30,4	30	58	30,5	7278
01/set	14:20	31,8	42,4	52	30,5	7278
02/set	08;00	30	30,2	64	28,5	7247
02/set	10:00	28,5	27,3	67	27,5	7247
02/set	12:40	28,5	27,2	63	29	7216



02/set	14:05	29,8	34,9	57	29,75	7216
02/set	14:30	31,2	39,5	55	29,5	7216
03/set	08:00	25	25	90	24,5	7185
03/set	10:20	27,4	26,8	78	26,25	7061
03/set	12:45	28	27,6	77	26,5	7061
03/set	14:30	31,3	41	64	29	7071
04/set	11:30	29,8	29,8	71	28	7071
05/set	15:00	33,3	42,5	54	31	7071
06/set	15:00	34	45	51	31,25	7030
08/set	08:00	28,5	28,1	70	27,5	7030
08/set	10:30	29,3	28,6	65	26,5	6950
08/set	12:30	29,5	29,5	62	27,5	6700
08/set	13:50	31,8	31,8	56	33	6700
08/set	14:25	32,3	43,4	58	30,5	6700
09/set	08:00	27,7	27,1	77	26,5	6638
09/set	10:30	29,8	28,7	65	28	6412
09/set	12:40	30,4	29,6	64	28,5	6351
09/set	13:40	30,8	30,9	62	31,5	6351
09/set	14:30	32,3	42,3	57	30,5	6351
10/set	08:00	27,3	26,7	71	26	6351
10/set	10:30	30	29,2	61	28,5	6197
11/set	15:00	34,1	41,5	48	31,5	6146
12/set	15:22	29,6	30	48	28,5	6146
13/set	13:00	32	31,5	61	29,5	6126
13/set	15:30	28,3	29	66	27,5	6126
13/set	17:30	25,8	26,1	81	26	6034
14/set	08:00	29,6	29,2	70	28	6004
14/set	10:30	31	29,6	69	28	5831
14/set	12:50	30,7	29,8	67	29	5831
14/set	14:00	31,3	30,8	64	31	5831
14/set	14:20	31,6	38,9	61	30,5	5831
15/set	08:00	29,5	29,1	70	28,25	5810
15/set	10:00	30	29,3	65	28,5	5810
15/set	12:30	30,8	29,5	63	29,5	5719
15/set	13:50	32	31,5	62	32	5679
15/set	14:20	32,6	40,1	69	31,5	5679
16/set	08:00	29,4	28,7	68	28	5679
16/set	10:30	30,4	29,2	68	29	5648
16/set	12:30	30,8	30,8	67	29	5618
17/set	08:00	28,6	28,2	72	27,25	5588
17/set	10:00	30,6	30,1	68	28,5	5527
17/set	11:40	30,5	30	67	29	5467
18/set	15:10	33,3	40,6	50	30,5	5467

19/set	15:10	35,9	44	45	31,5	5427
20/set	13:00	31	30,6	54	28	5396
20/set	15:30	34,1	40,5	42	29,5	5176
20/set	17:30	27	27	63	27	5159
20/set	13:56	32,1	31,7	57	33,5	4997
21/set	08:00	30,6	29,7	60	27,5	5146
22/set	08:00	30,8	30,8	67	27,5	4978
22/set	10:30	31,1	30,2	66	29,5	4838
22/set	12:30	29,8	30,1	68	29,5	4799
22/set	14:35	34,7	47,5	53	32,5	4720
23/set	14:00	32,6	32,6	59	34,5	4642
23/set	14:50	37,4	47,3	43	32,5	4652
24/set	08:00	27	27	77	27	4622
24/set	10:00	29,3	29,3	71	28	4593
24/set	11:40	31,1	31,1	65	29	4563
24/set	14:00	32,9	32,9	62	34	4563
24/set	14:30	33,8	43	56	30,5	4563
25/set	15:00	37,6	43,3	43	31,5	4563

### OUTUBRO DE 2021

Data	Hora	Temperatura do ambiente em outubro (°C)	Temperatura da parede do em outubro (°C)	Umidade relativa do ar em outubro (%)	Temperatura do combustível em outubro (°C)	Volume (L)
26/set	15:00	34,7	37,9	58	30	4563
27/set	13:00	30,4	29,5	66	28	9464
27/set	17:30	26,7	26,7	74	26	9382
28/set	08:00	28,6	28	69	26,5	9372
28/set	12:40	30,4	29,1	62	28	9219
28/set	13:55	30,1	29,7	63	30	9219
28/set	14:35	30,8	32,5	61	29,5	9219
29/set	08:00	27,1	26,5	85	26,25	9198
29/set	12:00	30,4	28,8	70	29	9065
29/set	14:00	30,9	30,4	71	31,5	9065
29/set	14:30	31,3	33,8	68	30	9065
30/set	08:00	29	28	77	27,75	9065
30/set	12:40	30,6	29,4	68	29	8839
30/set	14:00	31,8	31,8	66	33	8839
30/set	14:30	33,5	39,8	59	31,5	8839
01/out	08:00	29,5	29	70	29,5	8839
01/out	11:40	31,1	29,6	63	29,5	8643
01/out	14:00	32,6	31,3	61	33	8643

01/out	14:30	32,6	38,5	66	31,5	8643
02/out	14:20	34,4	40,4	57	33	8643
03/out	14:20	32,9	40,2	57	31,5	8643
04/out	13:00	30,1	30,1	68	27,5	8612
04/out	15:00	33,4	38,3	55	30,5	8540
04/out	17:50	26,8	27,4	77	26,5	8550
05/out	08:00	30	29,2	64	28,5	8509
05/out	10:30	31,8	30	62	28,5	8447
05/out	12:30	31	30,1	63	28	8447
05/out	14:00	32,2	32,7	60	33,5	8447
05/out	14:35	33,8	40,7	55	32	8447
06/out	08:00	30,5	29,5	66	27,5	8447
06/out	12:30	31,8	31,3	64	29	8189
06/out	14:00	28	28,3	79	27,75	8199
06/out	14:25	27,8	28,5	78	27,5	8199
07/out	08:00	30,5	29,6	67	28,5	8189
07/out	10:00	31,9	30	63	27,5	8189
07/out	12:30	31,4	31	61	28,5	8095
07/out	14:00	32	31,1	58	33,5	8095
07/out	14:30	33,6	41,3	51	32,25	8095
08/out	08:00	30,1	29,3	63	28,5	8095
08/out	10:20	31	30,1	61	29	7899
08/out	11:40	31,1	30,3	60	29,5	7899
08/out	14:00	32,7	32,7	59	34	7899
09/out	14:15	32,7	32,7	59	31,5	7806
10/out	14:15	37	42,7	44	32,5	7785
12/out	14:00	32,3	31,8	60	34	7795
13/out	08:30	31	30,1	61	29	7899
13/out	10:00	30,7	31,2	56	28,5	7547
13/out	12:30	31,8	30,4	57	29	7547
13/out	14:00	32,2	32,2	59	33,5	7547
13/out	14:20	33,1	41,8	55	32,5	7547
14/out	08:00	29,3	29,3	70	27	7547
14/out	12:01	32,2	31,8	63	29,5	7412
14/out	14:00	32,5	33,3	61	31,5	7381
14/out	14:30	30	30,4	66	30	7381
15/out	08:00	30,5	30	68	29	7381
15/out	10:30	30,8	30,3	65	29,5	7092
15/out	11:40	32	31,5	63	30	7061
15/out	14:00	32,4	32,8	58	33,5	7061
15/out	14:20	33	40,1	56	32,5	7061
16/out	14:20	28	28,3	85	27	7061
17/out	14:20	30,5	45,1	67	33	7061

18/out	13:00	31,8	31,8	62	30	7061
18/out	17:30	28,4	27,9	69	28	6896
19/out	13:00	29,9	31,5	62	30	6885
19/out	14:00	31,7	33,2	57	32	6865
18/out	17:00	27,6	27,7	75	27	6834
20/out	13:00	30,8	31,5	59	29	6772
20/out	17:00	27,7	28,4	69	26	6637
21/out	08:00	30,1	30,5	67	28	6637
21/out	12:30	31,4	31,1	62	28	6556
25/out	13:00	30,4	32,1	62	29	6474
25/out	14:00	30,4	46,8	61	32,5	6404
25/out	17:30	27,9	28	69	28,5	6282
26/out	08:00	26,8	27,9	78	28	6279
26/out	10:30	29,9	31	65	29,5	6095
26/out	12:30	29,3	33,3	71	29,5	6004
26/out	14:00	28,4	30	72	29	6004
26/out	14:30	28,2	29,1	74	28,5	6004
27/out	08:00	27,4	29,6	72	27,75	5973
27/out	10:00	29,3	30,8	69	28	5902
27/out	12:30	29,9	31,5	63	28,5	5871

### NOVEMBRO DE 2021

Data	Hora	Temperatura do ambiente em novembro (°C)	Temperatura da parede do tanque em novembro (°C)	Umidade relativa do ar em novembro (%)	Temperatura do combustível em novembro (°C)	Volume (L)
28/out	08:00	27,4	28,5	70	27	5871
29/out	08:00	28,3	29,3	70	28	5719
29/out	10:00	27,1	31,1	78	27,5	5366
29/out	12:00	28,7	31,4	75	28	5306
03/nov	13:00	30,5	32,2	63	30	5266
03/nov	14:00	31,3	33,8	61	33	5246
04/nov	08:00	31	32,2	63	27	5216
08/nov	08:00	31,7	33,7	59	31	4898
08/nov	14:00	30,8	39,8	61	34	4684
08/nov	17:30	28,7	28,3	71	29	4652
09/nov	08:00	29,9	31,2	69	29	4652
09/nov	10:30	30,8	32,3	60	30,5	4563
09/nov	12:30	30,7	32,6	61	30,5	4534
10/nov	08:00	29,9	31,2	68	29	4534
10/nov	10:30	30,7	32,2	59	30,25	4476
10/nov	12:30	31	32,2	61	30,5	4408

11/nov	08:00	29	30,6	78	28,25	4408
11/nov	10:30	30,4	32,5	68	30	4349
11/nov	12:30	29,9	32,2	74	30	4320
12/nov	08:00	29	30,5	70	30	4320
12/nov	10:00	31	33,3	68	32	4154
12/nov	11:30	30,1	32,7	70	29,5	4080
16/nov	13:00	30,4	32,7	59	30,5	4022
16/nov	14:00	28,7	33,1	70	30,5	4022
16/nov	17:30	28,2	27,9	72	28,5	3899
17/nov	08:00	30,4	31,5	63	29,5	3870
17/nov	10:30	30,7	32,5	59	30	3720
17/nov	12:30	31	33,1	58	30,5	3663
18/nov	08:00	28,7	30,5	69	28,5	3663
18/nov	10:30	29,3	30,5	75	29	3607
18/nov	12:40	31	32,8	63	30,5	3514
19/nov	08:00	29,9	31,6	67	29	3496
19/nov	10:30	30,4	32,5	64	30	4331
19/nov	11:40	30,7	32,9	62	30,5	3431
22/nov	13:00	30,7	33,1	62	30,5	3404
22/nov	14:00	30,1	36,5	66	32,5	3321
22/nov	17:30	28,4	29,1	75	29	3321
23/nov	08:00	31,7	33,1	61	30	3257
23/nov	10:30	32	33	62	31	3148
23/nov	12:30	31,1	32,9	61	30,5	3130
24/nov	08:00	30,7	31,7	65	29,5	3121
24/nov	10:30	31,1	33,3	63	30,5	3085
24/nov	12:40	31,4	33,8	63	30,5	3031
25/nov	08:00	31,4	32,9	61	30	2977
25/nov	10:30	31,1	33,4	64	30,5	2924
25/nov	12:30	31,4	33,7	61	31	2897
26/nov	08:00	30,7	32	64	29,5	2897
26/nov	10:30	31,7	33,1	62	31	2678
26/nov	11:30	31,1	34	64	31	2652
29/nov	13:00	31,1	34,8	63	30,5	2591
29/nov	14:30	31,1	35,3	65	31,1	2540
29/nov	17:30	29,9	29,9	73	26	2463

DEZEMBRO DE 2021						
Data	Hora	Temperatura do ambiente em dezembro (°C)	Temperatura da parede do tanque em dezembro (°C)	Umidade relativa do ar em dezembro (%)	Temperatura do combustível em dezembro (°C)	Volume (L)
30/nov	08:00	32	31,3	61	29,5	2446
30/nov	10:30	31,4	33,2	61	30	2369
30/nov	12:30	31,4	33,6	62	31	2302
01/dez	08:00	33,6	31,5	59	29,5	2285
01/dez	10:30	31,4	31,1	59	28,5	2227
01/dez	12:30	31,1	33,4	69	29,5	2169
02/dez	08:00	33,3	32,2	58	29,5	2149
02/dez	10:30	31,1	33,4	61	30,5	2145
02/dez	12:30	31,7	33	62	31	2095
03/dez	08:00	33,1	31,3	58	29	2095
03/dez	10:00	31,4	30,5	59	30	1918
03/dez	11:30	31,8	33	63	30	1918
06/dez	13:00	30,4	32,3	65	30,5	1846
06/dez	14:00	31,3	49,8	62	30,5	1165
06/dez	17:30	28,2	28,3	73	28,5	6628
07/dez	13:00	30,1	33,1	68	30	6587
07/dez	14:30	30,7	34,3	63	30,5	6546
07/dez	17:30	28,7	28,9	70	29	6382
08/dez	10:10	30,7	33	67	30,5	6371
09/dez	08:00	31	31,7	66	28,5	6361
09/dez	10:00	30,4	31,3	63	29,5	6351
09/dez	12:45	31,7	30,3	73	31,5	6259
09/dez	14:35	29,9	33,1	70	33,5	6259
09/dez	15:50	31,7	46,7	68	31,5	6287
10/dez	08:00	29	31,2	79	28	6187
10/dez	10:30	30,7	32,1	66	30	6156
10/dez	11:20	31	33,6	66	29,5	6156
11/dez	15:00	30,7	47,2	63	32,5	6156
12/dez	15:00	30,1	47,5	67	32,5	6156
13/dez	08:00	25,1	25,3	81	25,5	6126
13/dez	10:30	27,7	28,4	81	27,5	5993
13/dez	12:25	27,1	30	81	28	5932
13/dez	14:40	29,3	32,5	70	29,5	5932
14/dez	08:00	29,6	30,1	74	29,5	5932
14/dez	12:40	31,3	33	61	28,5	5810
14/dez	14:20	29,9	35,9	71	31	5810
15/dez	08:00	30,3	32	63	29,5	5527

15/dez	10:00	29,9	30,9	72	31,5	5527
15/dez	12:30	32,5	33	72	32,3	5527
15/dez	14:30	29,9	33,4	73	31,5	5527
15/dez	14:50	29,9	43,1	76	32,5	5527
16/dez	08:00	28,1	29,5	80	28,5	5467
16/dez	10:30	30,1	32,3	68	30	5427
16/dez	12:30	31,7	33,9	60	31,5	5326
16/dez	14:40	31	36,1	65	34	5316
16/dez	15:00	32	43,3	62	33	5316
17/dez	13:00	29,9	32,7	74	29,5	5216
17/dez	14:30	29,9	32,5	72	30	5146
17/dez	17:30	28,4	28,3	77	28,5	5116
18/dez	14:34	30,5	34,4	69	33	5116
19/dez	14:55	31,1	35,4	68	33	5116