



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**

**TAXA DE EVAPORAÇÃO DE COMBUSTÍVEIS EM FUNÇÃO  
DA TEMPERATURA: ANÁLISE TERMOECONÔMICA  
APLICADA A POSTOS DE SERVIÇOS DO RN.**

THIAGO DA SILVA ANDRÉ

NATAL – RN  
DEZEMBRO DE 2016.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**

# **TAXA DE EVAPORAÇÃO DE COMBUSTÍVEIS EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA: ANÁLISE TERMOECONÔMICA APLICADA A POSTOS DE SERVIÇOS DO RN.**

THIAGO DA SILVA ANDRÉ

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Termociências.

Orientador: Prof. Dr. Francisco de Assis Oliveira Fontes.

Coorientador: Prof. Dr. Lúcio Ângelo de Oliveira Fontes.

NATAL – RN  
DEZEMBRO DE 2016

Catálogo da Publicação na Fonte  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Sistema de Bibliotecas Biblioteca  
Central Zila Mamede / Setor de Informação e Referência

André, Thiago da Silva.

Taxa de evaporação de combustíveis em função da temperatura: análise termoeconômica aplicada a postos de serviços do RN / Thiago da Silva André. - 2016.

129 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Natal, RN, 2017.

Orientador: Prof. Dr. Francisco de Assis Oliveira Fontes.

Coorientador: Prof. Dr. Lúcio Ângelo de Oliveira Fontes.

1. Combustíveis - Dissertação. 2. Postos de combustíveis - Dissertação. 3. Taxa de evaporação - Dissertação. 4. Custos - Dissertação. I. Fontes, Francisco de Assis Oliveira. II. Fontes, Lúcio Ângelo de Oliveira. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 662.613

**TAXA DE EVAPORAÇÃO DE COMBUSTÍVEIS EM FUNÇÃO  
DA TEMPERATURA: ANÁLISE TERMOECONÔMICA  
APLICADA A POSTOS DE SERVIÇOS DO RN.**

THIAGO DA SILVA ANDRÉ

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof. Dr. **Francisco de Assis Oliveira Fontes** – UFRN

Orientador – Presidente

---

Prof. Dr. **Lucio Ângelo de Oliveira Fontes** - UFRN

Coorientador

---

Prof. Dr. **Cleiton Rubens Formiga Barbosa**- UFRN

Examinador Interno

---

Prof. Dr. **Igor Marcel Gomes Almeida** - IFRN

Examinador Externo

Julgada em 19 de dezembro de 2016.

## ÉPIGRAFE

“Melhor é o fim das coisas que o princípio.”

Salomão.

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha esposa,  
Elizabeth Ronise.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, autor da vida, meu escudo, minha rocha, minha salvação.

A minha esposa, Elizabeth Ronise, por ser um oásis quando tudo parecia estar deserto.

A meus pais, em especial a minha mãe Analúcia, por suas orações e conselhos.

Ao meu orientador, Dr. “Chico” Fontes, pelo acolhimento, incentivo, ética e grandeza em repassar seus conhecimentos com tanto esmero.

Ao professor Dr. Cleiton Rubens pelas estratégias didáticas aprendidas através de suas atividades acadêmicas.

Ao professor Dr. Eduardo Lins, Engenheiro Químico, pela abertura do NUPEG as atividades desenvolvidas neste trabalho.

Aos meus colegas, Ramon Rudá e Isaac Medeiros, pela companhia, troca de saberes e acima de tudo, pela amizade.

À Universidade Federal do Rio Grande do Norte por manter, sempre abertas, suas portas ao conhecimento.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	20
1.1	Objetivo Geral .....	24
1.2	Objetivos Específicos .....	24
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	27
2.1	Emissões Fugitivas .....	27
2.2	Postos de serviços .....	28
2.3	Emissões evaporativas em postos .....	31
2.4	Limite das perdas no Brasil .....	34
2.5	O posto ecológico .....	35
2.5.1	Tanque ecológico .....	36
2.5.2	Acessórios .....	37
2.5.3	Bombas de abastecimento .....	42
2.5.4	Filtro de Diesel.....	46
2.5.5	Sistema de drenagem oleosa .....	48
2.5.6	Piso impermeável e canaletas.....	49
2.5.7	Sistema de monitoramento ambiental e controle de volume .....	50
2.5.8	Sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) .....	51
3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	53
3.1	Materiais.....	53
3.1.1	Gasolina Comum .....	54
3.1.2	Álcool combustível.....	57
3.1.3	Diesel S10 .....	61
3.1.4	Gasolina Aditivada (GRID) .....	64
3.2	Metodologia.....	65
3.2.1	Equipamentos e acessórios.....	65
3.2.2	Procedimento experimental .....	70
3.2.3	Equações.....	72
3.3	Transferência de calor.....	72
3.3.1	Temperatura do solo.....	73
3.3.2	Transferência de calor através do tanque .....	75
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	79

4.1	Gasolina comum .....	79
4.1.1	Análise de custos – Gasolina Comum .....	85
4.2	Álcool combustível .....	85
4.2.1	Análise de custos – Álcool combustível .....	91
4.3	Diesel S10.....	92
4.3.1	Análise de custos – Diesel S10 .....	97
4.4	Gasolina GRID .....	98
4.4.1	Análise de custos – Gasolina GRID.....	102
4.5	Análise comparativa entre os combustíveis .....	103
5	CONCLUSÃO .....	106
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	109
	APÊNDICE – ARTIGOS CIENTÍFICOS E TÉCNICOS .....	118

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Pluma de contaminação.....	21
Figura 2.1. Custos causados pelas emissões fugitivas.....	28
Figura 2.2. Distribuição de áreas contaminadas por atividade no Estado de São Paulo.....	30
Figura 2.3. Quadro resumo da situação de 110 postos de combustível.....	30
Figura 2.4. À esquerda taxa de evaporação sob o aspecto da velocidade de abastecimento. À direita, sob o aspecto da temperatura.....	32
Figura 2.5. Posto de combustível.....	36
Figura 2.6. Tanque ecológico.....	37
Figura 2.7. Válvula antitransbordamento.....	38
Figura 2.8. Válvula de esfera flutuante.....	38
Figura 2.9. Câmara de contenção da boca de visita.....	39
Figura 2.10. Câmara de calçada.....	39
Figura 2.11. Câmara de contenção de descarga de combustíveis.....	40
Figura 2.12. Tubulação de monitoramento e medição.....	41
Figura 2.13. Válvula de pressão e vácuo.....	41
Figura 2.14. Tubulações de combustíveis.....	42
Figura 2.15. Bombas de abastecimento.....	42
Figura 2.16. <i>Sump</i> de bomba.....	43
Figura 2.17. <i>Check</i> válvula.....	44
Figura 2.18. Válvula contra abalroamento.....	45
Figura 2.19. Válvula <i>breakaway</i> .....	45
Figura 2.20. Unidade seladora.....	46
Figura 2.21. Filtro de diesel.....	47
Figura 2.22. Câmara de contenção do filtro de diesel.....	48
Figura 2.23. Sistema de drenagem oleosa.....	49
Figura 2.24. Piso impermeável e canaletas.....	50
Figura 2.25. Sistema de monitoramento ambiental e controle de volume.....	51
Figura 2.26. SPDA.....	51
Figura 3.1. Evolução das vendas nacionais de gasolina comum, em milhões de m <sup>3</sup> .....	54
Figura 3.2. Evolução das vendas nacionais de álcool anidro e hidratado, em milhões de m <sup>3</sup> .....	59
Figura 3.3. Evolução das vendas nacionais de óleo diesel, em milhões de m <sup>3</sup> .....	61
Figura 3.4. Disposição dos equipamentos durante o ensaio.....	66
Figura 3.5. Banho termostático.....	66
Figura 3.6. Balança analítica.....	67
Figura 3.7. Proveta.....	68
Figura 3.8. Termômetro químico.....	69

Figura 3.9. Suportes e garras.....	69
Figura 3.10. Pipeta e pipetador.....	70
Figura 3.11. Cilindro com parede única.....	76
Figura 3.12. Fluxo de calor no tanque durante o dia.....	77
Figura 4.1. Peso evaporado por hora. Gasolina comum a T = 55 °C.....	79
Figura 4.2. Peso evaporado por hora. Gasolina comum a T = 50 °C.....	79
Figura 4.3. Peso evaporado por hora. Gasolina comum a T = 45 °C.....	80
Figura 4.4. Peso evaporado por hora. Gasolina comum a T = 35 °C.....	80
Figura 4.5. Peso evaporado por hora. Gasolina comum a T = 40 °C.....	80
Figura 4.6. Peso evaporado por hora. Gasolina comum a T = 30 °C.....	80
Figura 4.7. Peso total evaporado. Gasolina comum a T = 55 °C.....	81
Figura 4.8. Peso total evaporado. Gasolina comum a T = 50 °C.....	81
Figura 4.9. Peso total evaporado. Gasolina comum a T = 45 °C.....	81
Figura 4.10. Peso total evaporado. Gasolina comum a T = 40 °C.....	82
Figura 4.11. Peso total evaporado. Gasolina comum a T = 35 °C.....	82
Figura 4.12. Peso total evaporado. Gasolina comum a T = 30 °C.....	82
Figura 4.13. Taxa de evaporação média (grama/hora). Gasolina Comum.....	83
Figura 4.14. Percentual (médio) por hora de volume evaporado em função da temperatura. Gasolina Comum.....	84
Figura 4.15. Peso evaporado por hora. EHC a T = 55 °C.....	86
Figura 4.16. Peso evaporado por hora. EHC a T = 50 °C.....	86
Figura 4.17. Peso evaporado por hora. EHC a T = 45 °C.....	86
Figura 4.18. Peso evaporado por hora. EHC a T = 40 °C.....	86
Figura 4.19. Peso evaporado por hora. EHC a T = 35 °C.....	86
Figura 4.20. Peso evaporado por hora. EHC a T = 30 °C.....	86
Figura 4.21. Peso total evaporado. Álcool combustível a T = 55 °C.....	87
Figura 4.22. Peso total evaporado. Álcool combustível a T = 50 °C.....	87
Figura 4.23. Peso total evaporado. Álcool combustível a T = 45 °C.....	88
Figura 4.24. Peso total evaporado. Álcool combustível a T = 40 °C.....	88
Figura 4.25. Peso total evaporado. Álcool combustível a T = 35 °C.....	88
Figura 4.26. Peso total evaporado. Álcool combustível a T = 30 °C.....	89
Figura 4.27. Taxa de evaporação média (grama/hora). Álcool combustível. ...	89
Figura 4.28. Percentual (médio) por hora de volume evaporado em função da temperatura. Álcool combustível.....	90
Figura 4.29. Peso evaporado por hora. Diesel S10 a T = 55 °C.....	92
Figura 4.30. Peso evaporado por hora. Diesel S10 a T = 50 °C.....	92
Figura 4.31. Peso evaporado por hora. Diesel S10 a T = 45 °C.....	92
Figura 4.32. Peso evaporado por hora. Diesel S10 a T = 40 °C.....	92
Figura 4.33. Peso evaporado por hora. Diesel S10 a T = 35 °C.....	92
Figura 4.34. Peso evaporado por hora. Diesel S10 a T = 30 °C.....	92
Figura 4.35. Peso total evaporado. Diesel S10 a T = 55 °C.....	93
Figura 4.36. Peso total evaporado. Diesel S10 a T = 50 °C.....	93
Figura 4.37. Peso total evaporado. Diesel S10 a T = 45 °C.....	94

Figura 4.38. Peso total evaporado. Diesel S10 a T = 40 °C.....	94
Figura 4.39. Peso total evaporado. Diesel S10 a T = 35 °C.....	94
Figura 4.40. Peso total evaporado. Diesel S10 a T = 30 °C.....	95
Figura 4.41. Taxa de evaporação média (grama/hora). Diesel S10.....	95
Figura 4.42. Percentual (médio) por hora de volume evaporado em função da temperatura. Diesel S10.....	96
Figura 4.43. Peso evaporado por hora. Gasolina GRID a T = 55 °C.....	98
Figura 4.44. Peso evaporado por hora. Gasolina GRID a T = 50 °C. ....	98
Figura 4.45. Peso evaporado por hora. Gasolina GRID a T = 45 °C. ....	98
Figura 4.46. Peso evaporado por hora. Gasolina GRID a T = 40 °C.....	98
Figura 4.47. Peso evaporado por hora. Gasolina GRID a T = 35 °C. ....	98
Figura 4.48. Peso evaporado por hora. Gasolina GRID a T = 30 °C. ....	98
Figura 4.49. Peso total evaporado. Gasolina GRID a T = 55 °C. ....	99
Figura 4.50. Peso total evaporado. Gasolina GRID a T = 50 °C. ....	99
Figura 4.51. Peso total evaporado. Gasolina GRID a T = 45 °C. ....	100
Figura 4.52. Peso total evaporado. Gasolina GRID a T = 40 °C. ....	100
Figura 4.53. Peso total evaporado. Gasolina GRID a T = 35 °C. ....	100
Figura 4.54. Peso total evaporado. Gasolina GRID a T = 30 °C. ....	101
Figura 4.55. Taxa de evaporação média (grama/hora). Gasolina GRID. ....	101
Figura 4.56. Percentual (médio) por hora de volume evaporado em função da temperatura. Gasolina GRID.....	102
Figura 4.57. Taxa de evaporação média (grama/hora). Comparação.....	103

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 2.1. Emissões no momento do abastecimento na região metropolitana do Estado de São Paulo (adaptado pelo autor).....	33
Tabela 3.1. Propriedades físico-químicas da gasolina comum. ....	57
Tabela 3.2. Propriedades físico-químicas do álcool combustível. ....	60
Tabela 3.3. Propriedades físico-químicas do diesel S10.....	63
Tabela 3.4. Propriedades físico-químicas da gasolina GRID. ....	65

## ABREVIATURAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.
- API - American Petroleum Institute.
- BTEX - Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, Xilenos.
- CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente.
- COV - Compostos Orgânicos Voláteis.
- CSAO - Caixa Separadora de Água e Óleo.
- EHC - Etanol Hidratado Comum.
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.
- INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia.
- LMC - Livro de Movimentação de Combustível.
- COM - Módulo de Coleta de Óleo.
- MIE - Módulo de Inspeção de Efluentes.
- MPE - Ministério Público Estadual.
- MPF - Módulo Pré-Filtro.
- NBR - Norma Brasileira.
- NR - Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho e Previdência Social.
- NUPEG - Núcleo de Ensino em Petróleo e Gás
- PEAD - Polietileno de Alta Densidade.
- PR - Posto revendedor.
- RAPP - Relatório Anual de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais.
- RN - Estado do Rio Grande do Norte.
- SASC - Sistema de Abastecimento Subterrâneo de Combustíveis.
- SDO - Sistema de Drenagem Oleosa.
- SISNAMA - Sistema Nacional do Meio Ambiente.
- SPDA - Sistema de Proteções Contra Descargas Atmosféricas.
- UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

## SÍMBOLOS

Alfabeto Latino:

$A$	Área	$[m^2]$
$A_0$	Amplitude da onda à temperatura à superfície do solo	$[K]$
$DR_z$	Relação de amortecimento	[adimensional]
$g$	grama	$[g]$
$L$	Comprimento	$[m]$
$P$	Período	$[s]$
$p_a$	Peso do conjunto proveta mais combustível mais suporte	$[g]$
$p_b$	Peso do conjunto proveta mais suporte	$[g]$
$\dot{q}$	Fluxo de calor	$[W/s]$
$R$ ou $r$	Raio	$[m]$
$t$	tempo	$[s]$
$T$	Temperatura	$[^{\circ}C$ ou $K]$
$z$	profundidade	$[cm$ ou $m]$
$T_{avg}$	Temperatura média do solo	$[K]$

Alfabeto Grego:

$\alpha$	Difusividade térmica	$[m^2s^{-1}]$
$\epsilon_i$	Taxa de evaporação parcial	$[g/h]$
$\epsilon_{média}$	Taxa de evaporação média	$[g/h]$
$\beta$	Porcentagem de volume evaporado	$[\%]$
$k$	Condutividade térmica	$[Wm^{-1}K^{-1}]$
$\rho$	Condutividade térmica do solo	$[g/h]$

$\omega$	Frequência angular	[1/s]
$\beta$	Porcentagem de volume evaporado	[%]

ANDRÉ, *Thiago da Silva*, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 19 de dezembro de 2016. **Taxa de evaporação de combustíveis em função da temperatura: análise termoeconômica aplicada a postos de serviços do RN.** Orientador: Prof. Dr. Francisco de Assis Oliveira Fontes; Coorientador: Prof. Dr. Lucio Ângelo de Oliveira Fontes.

**Resumo.** Este trabalho é resultado de um estudo de análises experimentais que mediram a taxa de evaporação, em função da temperatura, de quatro combustíveis, a saber: gasolina comum, álcool combustível, Diesel S10 e gasolina GRID, realizados para seis níveis térmicos diferentes, seguido de uma análise de custos das perdas potenciais por evaporação, aplicada a tanques subterrâneos de postos de combustíveis. Quando esses combustíveis liberam vapores à atmosfera podem causar danos ao meio ambiente. Em postos de serviços, esse vapor é liberado quando do abastecimento do veículo ou pelas linhas de respiro do Sistema de Abastecimento Subterrâneo de Combustíveis - SASC. Quando o posto não possui proteções contra essas emissões fugitivas, elas atingem flora, rios, lençóis freáticos etc. Além da poluição dos recursos naturais, a perda por evaporação atinge as finanças do posto de combustível, tanto pelas multas geradas pelas contaminações, quanto pela perda de ativo, os combustíveis. Dos combustíveis avaliados, o que apresentou a maior taxa de evaporação foi a gasolina GRID, seguido da gasolina comum, álcool e diesel S10.

**Palavras-chave** – combustíveis; postos de serviços, taxa de evaporação, custos.

ANDRÉ, *Thiago da Silva*, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 19 december 2016. ***Fuel evaporation temperature: analysis economic term applied to gas stations of the RN.*** Advisor: Teacher Dr. Francis Oliveira Francisco de Assis Oliveira Fontes; joint Advisor: Teacher. Dr. Lucio Ângelo de Oliveira Fontes.

**Abstract.** This work is the result of a study of experimental tests that measured the rate of evaporation, temperature, of four fuels, namely: ordinary gasoline, ethanol fuel, Diesel and gas GRID, S10 for six different heat levels, followed by a cost analysis of the potential losses for evaporation, applied to underground tanks of gas stations. When these fuels release vapors into the atmosphere can cause damage to the environment. In service stations, this vapor is released when the supply of the vehicle or the vent lines of Underground fuel supply system-SASC. When the gas station does not have protections against these fugitive emissions, they reach flora, rivers, groundwater etc. Apart from the problem of pollution of natural resources, the loss by evaporation reaches the finances of the gas station, both by the fines generated by the contamination, and the loss of active, fuel. Of fuels evaluated presented the highest evaporation rate was the gas GRID, followed by ordinary gasoline, alcohol and diesel S10.

**Keywords** – fuels; gas stations, evaporation rate, costs.

---

**CAPÍTULO 1**

**INTRODUÇÃO**

---

## 1 INTRODUÇÃO

O cuidado com o meio ambiente tornou-se nesses últimos anos um assunto de grande relevância (CHOFREH et al., 2014). Antes ignorado por motivos diversos, agora assume cada vez mais destaque no cenário mundial.

A natureza já apresenta os primeiros sinais da forma indiscriminada como foi explorada durante séculos, e o planeta clama por ajuda. Poluição, aquecimento global, deterioração da camada de ozônio, instabilidade climática são apenas algumas das reações negativas já sentidas pelo nosso planeta. (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2015).

A proteção ao meio ambiente ganhou importância legal, no Brasil, com a Lei 6938/81 - Lei Nacional do Meio Ambiente que preconiza em seu artigo 14, § 1º: “Sem obstar a aplicação das penalidades previstas neste artigo, é o poluidor obrigado, independentemente da existência de culpa, a indenizar ou reparar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros, afetados por sua atividade. O Ministério Público da União e dos Estados terá legitimidade para propor ação de responsabilidade civil e criminal, por danos causados ao meio ambiente”. Esta lei deu origem a importantes entidades: SISNAMA (Sistema Nacional do Meio Ambiente) e CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente).

O IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) criado em 1989 pela Lei 7.735, tornou-se responsável pela execução da política nacional do meio ambiente e por agir para conservar, fiscalizar, controlar e fomentar o uso racional dos recursos naturais.

A constituição Federal, seguindo a preocupação mundial com a questão ambiental, afirma em seu artigo Art. 225, § 3: “As condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar o dano causado”.

Dentre tantos concorrentes que promovem à poluição ambiental, o uso de combustíveis (fósseis ou não) automotivos, também contribuem com sua parcela para degradação ambiental (ANDERSON, 2009; ARMAROLI; BALZANI, 2011; CLAXTON, 2014), quando não devidamente transportados, armazenados, contidos e utilizados.

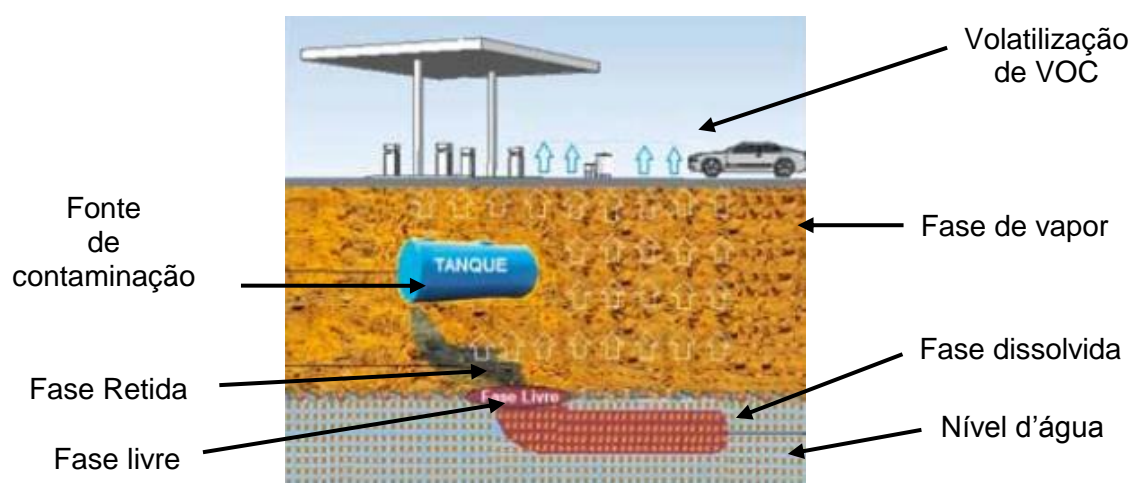
Um local que onde é obrigatório o uso controlado do meio ambiente é o posto revendedor de combustível. Esse lugar possui um potencial de poluição, que se não tomadas às devidas medidas de segurança, podem ocasionar graves danos tanto ao meio ambiente quanto a sociedade (PEREIRA; GOMES; OLIVEIRA, 2008; RAMALHO et al., 2014; ROSALES et al., 2014).

Os Postos Revendedores de Combustíveis são considerados uma atividade econômica potencialmente poluidora (NR 20). De acordo com as normas e leis nacionais, é obrigatório seu cadastro nos órgãos ambientais, para recebimento do devido licenciamento ambiental e assim poder desempenhar suas atividades.

Rios, plantas, animais, solo, vizinhança, lençóis freáticos, colaboradores e demais pessoas envolvidas no entorno de um posto de serviço (PERIAGO; PRADO, 2005) podem ser contaminados com as emissões de vapores provenientes dos combustíveis vendidos e/ou armazenados; somem-se a isto os danos a saúde das pessoas expostas a esse tipo de agente químico (SIGUT; ALAYÓN; HERNÁNDEZ, 2014; JIAN et al., 2011).

Os solos contaminados com hidrocarbonetos irão formar quatro fases distintas: líquida residual, líquida livre, dissolvida e vapor (Mariano, 2006).

**Figura 1.1. Pluma de contaminação**



Fonte: D. Huntley, G. D. Beckett.

Por essa razão merece destaque o estudo da evaporação dos combustíveis. A gasolina e o diesel são derivados do petróleo compostos

principalmente de hidrocarbonetos aromáticos óleofinas, parafinas e naftalenos (Gonzalez-Flesca, 2002).

A gasolina brasileira apresenta características peculiares (por exemplo, porcentagem de álcool anidro em sua composição) quando comparadas com outras ao redor do mundo, por isso faz-se importante o estudo da taxa de evaporação.

Já o álcool facilita a mobilização dos hidrocarbonetos em solos contaminados, promovendo a solubilização de alguns componentes como benzeno e tolueno em água. O álcool hidratado é fartamente utilizado em automóveis de passeio, devido à tecnologia *flex*, proporcionando um uso cada vez maior em postos de serviços.

Uma das fontes das emissões fugitivas está na perda por evaporação (PICARD, 1999). A volatilidade desses combustíveis, principalmente da gasolina comum, pode proporcionar uma perda considerável de combustível, isso considerando apenas a evaporação.

Estudos realizados na China em 2008 mediram os valores das emissões de vapores de gasolina em postos de combustíveis. Os resultados demonstram que, a perda por evaporação, nos locais onde não existia sistema de controle de emissões e/ou recuperação é de 2,49 quilos evaporados por tonelada de gasolina (ZHENG et al., 2011).

Outro fator que ocorre com as perdas por evaporação são as mudanças na composição do combustível. A concentração, principalmente dos hidrocarbonetos leves, diminui com a evaporação, 24,319% (V/V) para 0,916% (V/V), modificando assim as propriedades do combustível (LING et al., 2012).

Portanto emissões fugitivas, por evaporação, surgem como um fator a ser avaliado em postos revendedores de combustível no Brasil. É importante por dois aspectos: economia do posto e questão ambiental. Economia porque se não controlada, as emissões podem causar perda de ativos (combustíveis), além de multas geradas pela contaminação ambiental devido aos agravos que essas emissões podem causar à natureza, questão ambiental (ONAT, 2006).

Essas perdas por evaporação se dão, basicamente, em três momentos: Abastecimento do automóvel pelo frentista, abastecimento do tanque

subterrâneo de combustível pela empresa distribuidora e pela própria instalação.

A CETESB, em estudo recente, estimou que a perda evaporativa de combustível, no momento do abastecimento de automóveis, é de 1,14 g por litro para a gasolina comum e 0,37 g por litro para o álcool combustível (BALES; DA SILVA; HONÓRIO, 2015).

Em estudo realizado na China a perda por evaporação no momento do abastecimento dos tanques subterrâneos foi estimada em 0,5 quilos por tonelada de gasolina (ZHENG et al., 2011).

Tanques e linhas com vazamentos, oriundos de má instalação, má manutenção, ataques do solo ou dos combustíveis são responsáveis por uma contaminação do solo conhecido como passivo ambiental.

Dentre todas as partes de compõem um posto de combustível, o SASC - Sistema de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis - é o mais importante deles, tanto do ponto de vista funcional, quanto ambiental.

O SASC é composto pelos seguintes itens: Tanque de armazenamento de combustível, linha de sucção, linha de respiro, linha de retorno, linha de eliminador de ar, linha de descarga (local e a distância).

É no SASC também que são instalados os dispositivos de proteção ambiental como: válvulas de checagem, descarga selada, sistema de monitoramento, válvula de pressão e vácuo entre outros. Esses dispositivos minimizam e/ou controlam as perdas por emissões fugitivas.

Outra forma de se manter a confiabilidade, é assegurar a não presença de vazamentos no SASC, para tanto são realizados, periodicamente, testes de estanqueidade, que também podem ser tratados como uma manutenção preditiva e, em casos de vazamentos, corretiva, sempre tendo em vista colaborar para que o empreendimento exerça sua função de maneira economicamente sustentável, portanto importante para a avaliação ambiental.

No estado do Rio Grande do Norte (RN) o projeto Posto Legal, de iniciativa do Ministério Público Estadual (MPE), em parceria com a Universidade Federal do Estado, vem promovendo uma adequação ambiental em todos os postos de serviços do RN.

Os postos passam por uma perícia realizada pelos professores da universidade, acompanhados de autoridades ambientais do órgão estadual e do próprio MPE. A razão desse projeto é fazer com que os postos atuem de maneira economicamente sustentável.

Uma das maneiras de manter o posto de combustível adequado ambientalmente é seguir as orientações do INMETRO, ANP e ABNT nas fases de projeto, execução e manutenção de empreendimentos dessa natureza. O projeto Posto Legal atua baseado nos parâmetros normativos dessas entidades.

Neste trabalho serão analisadas, para seis níveis de temperaturas diferentes, as perdas por evaporação em função da temperatura dos seguintes combustíveis: gasolina comum, álcool combustível, diesel S10 e gasolina aditivada (GRID), todos da PETROBRAS<sup>®</sup> Distribuidora.

Essas perdas evaporativas estudadas são oriundas de uma instalação que não promove o controle ou a eliminação de vapores resultantes do combustível. Portanto, não serão avaliadas as perdas no momento do abastecimento do automóvel ou dos tanques.

Uma taxa de evaporação em função da temperatura no decorrer do tempo é obtida, e com isso, uma análise de custos é aplicada em postos de serviços, especificamente nos tanques subterrâneos, local onde ficam armazenados.

## **1.1 Objetivo Geral**

O objetivo deste estudo é realizar uma estimativa de quanto se perde, por evaporação de combustíveis, em um posto de serviço que não atua de modo preventivo controlando ou eliminando essas emissões.

## **1.2 Objetivos Específicos**

- Obtenção da taxa de evaporação em função da temperatura para a gasolina comum Petrobras;
- Obtenção da taxa de evaporação em função da temperatura para etanol hidratado combustível (EHC);

- Obtenção da taxa de evaporação em função da temperatura para o óleo diesel S10 Petrobras;
- Obtenção da taxa de evaporação em função da temperatura para a gasolina GRID Petrobras;

---

**CAPÍTULO 2**

**FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

---

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados os principais conceitos, definições e pesquisas relacionadas à temática em estudo.

### 2.1 Emissões Fugitivas

Primeiro é conveniente uma definição do que são emissões fugitivas.

Qualquer produto químico, ou uma mistura de produtos químicos, sob qualquer forma física, que representam um vazamento inesperado (perdas materiais) em um local industrial. Abrange também todas as perdas de materiais (normalmente voláteis) a partir de uma planta de processo, através da evaporação, alargamento, derramamentos e vazamentos imprevistos ou espúrias. (ONAT, 2006).

As emissões fugitivas, relativas às atividades de petróleo e gás, são atribuídas as seguintes fontes: vazamentos em equipamentos, processos que envolvem ventilação, perdas por evaporação, eliminação dos resíduos gasosos e acidentes.

Parte das emissões é resultado de produtos da combustão; outra parte, de vazamentos, que podem ser causados por:

- Componentes de vedação inadequados;
- Falhas na instalação;
- Falhas de projeto;
- Desgaste
- Envelhecimento.
- Falha de equipamento ou dispositivo;
- Falta de manutenção;
- Operação dos equipamentos e/ou dispositivos em condições

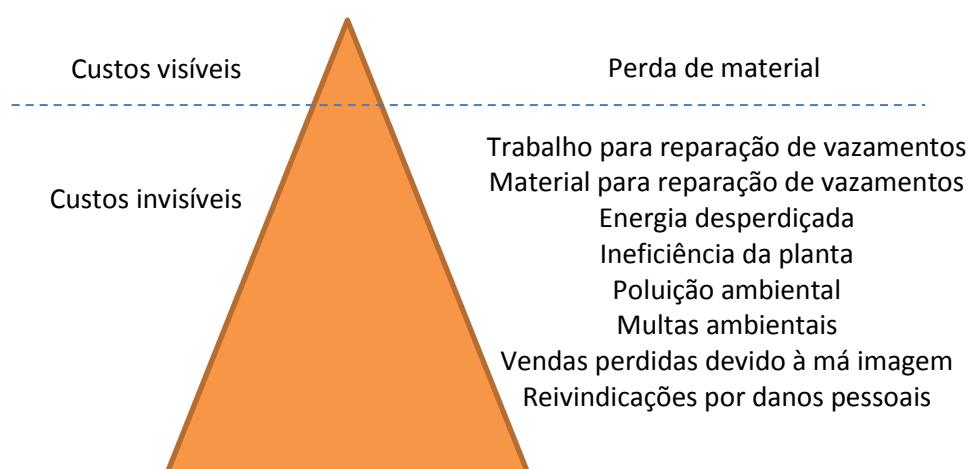
anormais dos processos.

As emissões fugitivas, especialmente de compostos orgânicos voláteis (COV), oferecem risco ao meio ambiente por criarem um potencial de

aquecimento global devido a interação dos compostos voláteis com o ozônio existente na atmosfera, contaminação do solo, além de serem tóxicos, cancerígenos e gerarem incômodos devido ao odor.

Outro fator negativo das emissões fugitivas é a perda de recursos financeiros, por ser tratar da diminuição de material, sendo esta a parte visível dessas perdas. Entretanto a maior parte das perdas é invisível, conforme observada na figura a seguir:

**Figura 2.1. Custos causados pelas emissões fugitivas.**



Fonte: ESA. Adaptado pelo autor

São as válvulas os dispositivos que mais contribuem para as emissões fugitivas nas atividades industriais (ONAT, 2006).

Em postos de serviços, as emissões fugitivas são provenientes de locais onde combustíveis líquidos são armazenados, isto inclui o SASC, especificamente a linha de respiro, o tanque e a linha de abastecimento.

Neste trabalho serão estudadas as emissões fugitivas causadas pelas perdas por evaporação de combustíveis presentes em postos revendedores de combustível.

## 2.2 Postos de serviços

A definição dos chamados postos de serviços (combustíveis) encontra-se na Resolução nº 273/00 do CONAMA, que traz em seu Art. 1º, §4º, inciso I:

Posto Revendedor - PR: Instalação onde se exerça a atividade de revenda varejista de combustíveis líquidos derivados de petróleo, álcool combustível e outros combustíveis automotivos, dispondo de equipamentos e sistemas para armazenamento de combustíveis automotivos e equipamentos medidores.

Segundo Santos (2005) as principais atividades desenvolvidas em um posto de serviços são:

- recebimento de produto, através de carros-tanques de combustíveis;
- armazenamento dos combustíveis em tanques subterrâneo;
- abastecimento dos veículos;
- operação do sistema de drenagem oleosa segregada da fluvial;
- troca de óleo lubrificante dos motores dos veículos;
- lavagem de veículos;
- atividade da loja de conveniência / escritórios.

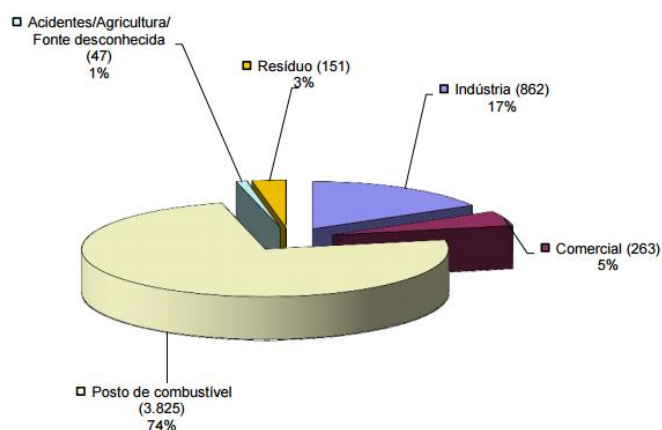
Por tratar com muitos produtos químicos, principalmente os derivados dos serviços fósseis, os postos são considerados uma atividade potencialmente poluidora. Isto é devido tanto a possíveis vazamentos quanto aos resíduos gerados pelo posto.

A comercialização de produtos altamente poluidores e cancerígenos, como Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno, Xilenos (BTEX), os postos revendedores podem impactar negativamente o meio ambiente. Os compostos BTEX podem se concentrar em várias partes do ambiente, como água, solo, rochas, vegetação etc. (FORTE, 2007).

A política nacional do meio ambiente trata os postos revendedores como uma atividade potencialmente poluidora, fundamentada na Lei Nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981. O IBAMA atua como órgão responsável, a nível federal, por gerar o relatório anual de atividades potencialmente poluidoras e utilizadoras de recursos ambientais (RAPP), documento este que serve para subsidiar ações de gestão ambiental.

É tão relevante a contribuição de possíveis contaminações por meio de postos revendedores que um estudo realizado pela CETESB (entidade de referência nacional na área ambiental), no Estado de São Paulo, mostra que a atividade econômica que mais gerou contaminação foi a de postos de serviços.

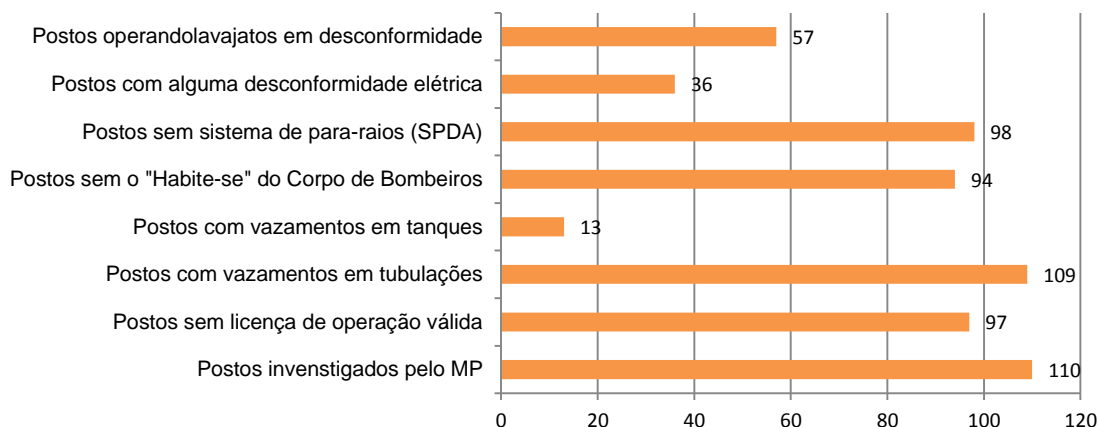
**Figura 2.2. Distribuição de áreas contaminadas por atividade no Estado de São Paulo.**



Fonte: CETESB, 2014.

Não obstante (DIAS, 2012) mostra um estudo em 110 postos de combustíveis do município de Natal, Rio Grande do Norte, corroborando a potencialidade de poluição através de suas atividades.

**Figura 2.3. Quadro resumo da situação de 110 postos de combustível.**



Fonte: Ministério Público do Rio Grande do Norte, adaptado pelo autor.

Observa-se do gráfico acima que, de 110 postos analisados, 109 apresentaram vazamentos nas tubulações/conexões entre tanques, bombas e filtros. O que gerou uma enorme quantidade de passivos ambientais.

Vale destacar o conceito de passivo ambiental dado por (GALDINO et al., 2004):

Apesar de ser um termo abrangente, pode-se definir passivo ambiental como uma obrigação adquirida em decorrência de transações anteriores ou presentes, que provocaram ou provocam danos ao meio ambiente ou a terceiros, de forma voluntária ou involuntária, os quais deverão ser indenizados através da entrega de benefícios econômicos ou prestação de serviços em um momento futuro.

Além das contaminações por vazamentos, outra fonte que degradação ambiental é o manejo dos resíduos produzidos pelos postos como: frascos plásticos de óleos vazios, panos contaminados com combustíveis e graxas, óleos utilizados, resíduo da caixa separadora de água e óleo entre outros (MARTINS, 2007).

Deve-se observar o correto descarte dos resíduos produzidos pelos postos de serviços, conforme expressa a Lei nº 12.305/10, que objetiva a correta reutilização dos resíduos sólidos e a adequada destinação dos rejeitos (aquilo que não pode ser reciclado).

### **2.3 Emissões evaporativas em postos**

O vazamento, conforme apresentado anteriormente, é a causa comum de contaminação do meio ambiente.

Entretanto, no processo de transferência de combustível ocorrem as chamadas perdas evaporativas. São perdas provenientes da fase vapor dos combustíveis armazenados em compartimentos destinados para esse fim.

A mudança de temperatura, e por vezes de pressão, faz com que o combustível, ora na fase líquida, apresente um porção também na fase de

vapor. Some-se a esta razão o fato de que esses vapores são formados devido a uma característica química do combustível, chamada volatilidade.

Segundo (SOUZA, 2004b) volatilidade é a tendência de um líquido a evaporar.

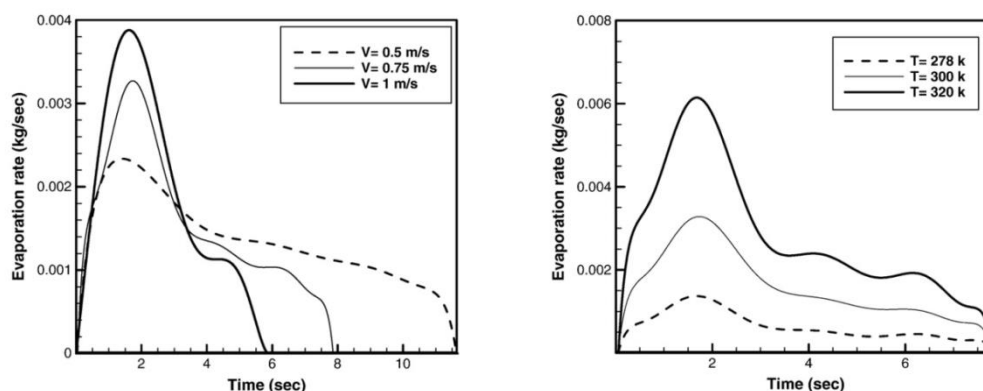
No momento em que o tanque tem abertura para atmosfera, através das conexões ou das aberturas existentes (boca do tanque, suspiros dos tanques etc.), vapores armazenados ali saem e logo se espalham no entorno do posto e sua vizinhança (PEREIRA; GOMES; OLIVEIRA, 2008).

Pesquisas em vários locais do mundo apontam as perdas por evaporação nesses três momentos: carregamento do caminhão tanque na distribuidora, abastecimento dos tanques subterrâneos através dos carros-tanques de combustíveis e abastecimento dos veículos.

Souza (2004) usando a técnica de adsorção em tubos de carvão ativo (método indireto), a coleta direta (método direto) e a simulação, conclui em sua pesquisa que a perda anual de gasolina no Brasil (em 2003) é de, aproximadamente, 248 caminhões de 30 m<sup>3</sup> cada, isso considerando, apenas o momento do carregamento do caminhão tanque na distribuidora.

Um estudo realizado por (HASSANVAND; HASHEMABADI; BAYAT, 2010) por meio simulação numérica, para cálculo da perda por evaporação de gasolina no momento do abastecimento dos tanques subterrâneos, considerando o fator velocidade de abastecimento e temperatura mostra, através de gráficos, a taxa de evaporação para esses parâmetros avaliados.

**Figura 2.4. À esquerda taxa de evaporação sob o aspecto da velocidade de abastecimento. À direita, sob o aspecto da temperatura.**



Fonte: HASSANVAND; HASHEMABADI; BAYAT, 2010.

A atividade de abastecimento dos veículos é um período onde o meio ambiente é agredido. Vapores de combustíveis, provenientes dos tanques subterrâneos e das tubulações são liberados a atmosfera, interagindo com os recursos naturais.

Em um estudo realizado na Tailândia aponta que a perda por evaporação no momento do abastecimento do automóvel, considerando o total de gasolina vendida naquela nação anualmente, é estimada em 7.300 toneladas por ano (WONGWISES; CHANCHLONA; RATTANAPRAYURA, 1997).

No Brasil, especificamente na região metropolitana do Estado de São Paulo, a tabela abaixo, estima que a perda por evaporação, no momento do abastecimento do veículo. A tab. (2.1) apresenta o resultado.

**Tabela 2.1. Emissões no momento do abastecimento na região metropolitana do Estado de São Paulo (adaptado pelo autor).**

<b>Categoria</b>	<b>Combustível</b>	<b>Emissão (toneladas)</b>
<b>Automóveis</b>	Gasolina Comum	2898
	Etanol Hidratado	46
	Flex-Gasolina Comum	1375
	Flex-Etanol Hidratado	645
<b>Comercias Leves</b>	Gasolina Comum	625
	Etanol Hidratado	3
	Flex-Gasolina Comum	256
	Flex-Etanol Hidratado	103
<b>Total</b>		5951

Fonte: Cetesb, 2015.

Está, então, comprovada que a atividade de revenda de combustível é, como já definida na lei, uma atividade potencialmente poluidora, merecendo a atenção em todos os processos nela envolvidos.

## 2.4 Limite das perdas no Brasil

Existe uma orientação aplicada a todos os postos de serviços brasileiros dos limites permitidos a serem tolerados, quando se trata de emissões fugitivas, especificamente as perdas por evaporação.

Essa recomendação é dada pela NBR ABNT 13787 - Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis. Procedimento de controle de estoque dos sistemas de armazenamento subterrâneo de combustíveis (SASC).

Diariamente o posto de serviço é obrigado a anotar no LMC, livro de movimentação de combustível, o estoque inicial (medição realizada antes das vendas) e final do combustível (após um dia ou noite de vendas), controlando o volume de combustíveis.

Então, admite-se uma tolerância de perdas, 0,6% do volume (tendo como referência o valor medido antes do início das vendas diárias). Esse percentual pode representar perdas evaporativas ou um vazamento de combustível (resultado da não estanqueidade do SASC).

A referida norma recomenda uma investigação quando as perdas forem superior a 0,6 % do volume, ou seja, estabelece que o teto para emissões fugitivas e/ou possíveis vazamentos em tanques subterrâneos não ultrapassem o valor mencionado.

Em consonância com a ABNT 13787 está à resolução da ANP n.º 23 de 2004 (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) que expressa, em seu artigo 5º:

“Independentemente de notificação do DNC, quando for constatada perda do estoque físico de combustível superior a 0,6% (seis décimos por cento) caberá ao posto revendedor proceder à apuração das causas e, se detectado vazamento para o meio ambiente, providenciar o reparo do(s) equipamento(s) correspondente(s) sem comprovação legal de movimentação comercial, caberá ao revendedor varejista apurar as causas.”

Essas perdas diárias podem ser resultado das emissões fugitivas ou de vazamentos no sistema de abastecimentos subterrâneo de combustível, o que

gera a recomendação, tanto da ABNT quanto da ANP, de ensaio de estanqueidade para averiguação das condições de estanqueidade do SASC.

Uma vez realizado o teste de estanqueidade e não encontrado vazamentos de combustíveis, as perdas encontradas são enquadradas como perdas devido à evaporação.

## **2.5 O posto ecológico**

A fim de prevenir e combater as emissões fugitivas e os vazamentos em postos revendedores de combustíveis são adotados equipamentos e acessórios, nas instalações, que promovam uma confiabilidade ambiental e operacional.

O conceito de posto ecológico é apresentado por (DIAS, 2012) e traz os equipamentos e acessórios a serem instalados em postos revendedores de combustível de modo a garantir uma atividade economicamente sustentável.

O posto de revendedor de combustível possui em suas instalações alguns sistemas que interagem entre si e são indispensáveis para a operacionalidade de suas atividades.

O principal é o SASC - Sistema Subterrâneo de Abastecimento de Combustível – composto dos seguintes equipamentos e/ou dispositivos:

- Tanque de armazenamento subterrâneo de combustível;
- Câmara de contenção de descarga de combustíveis;
- Câmara de contenção da boca de visita;
- Tubulação de combustível líquido;
- Tubulação de vapores de combustível (linha de respiro);
- Unidade abastecedora;
- Câmara de contenção da bomba de abastecimento.

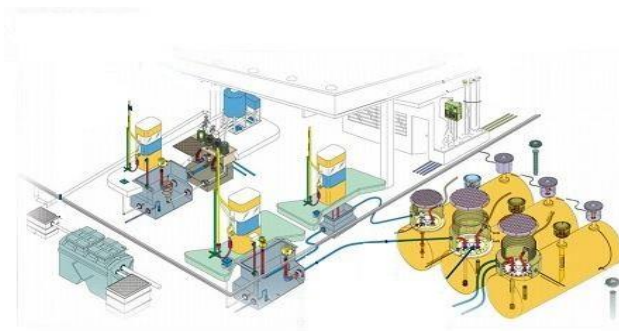
Outro sistema é o de monitoramento e medição, responsável tanto pelo controle do volume dos combustíveis comercializados nos postos, quanto pela medição e indicação de possíveis vazamentos de combustíveis nas áreas monitoradas por este sistema.

Importante e, por vezes, esquecido em algumas instalações é o sistema de proteções contra descargas atmosféricas (SPDA), que tem como função

básica proteger o posto de uma descarga atmosférica – raio – indesejada e inesperada, garantindo segurança aos trabalhadores e equipamentos.

O sistema de drenagem oleosa protege o solo e o meio ambiente, pois garante a correta destinação de combustíveis e óleos derramados no posto, realizando a separação entre óleo e água, destinando esses efluentes para rede de coleta ou local específico de armazenamento (compartimento), para destinação adequada, de acordo com a legislação.

**Figura 2.5. Posto de combustível.**



Fonte: Brasil Postos.

### 2.5.1 *Tanque ecológico*

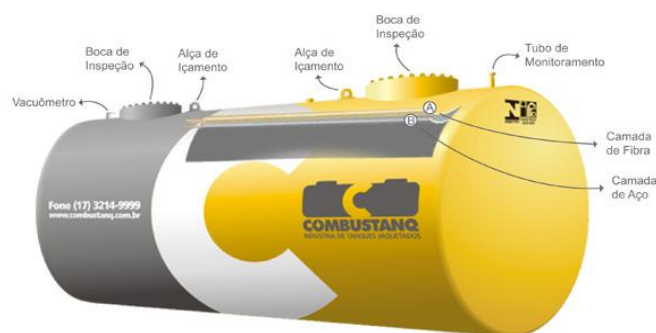
O tanque ecológico é constituído por dois tanques, um dentro do outro (LORENZETT; ROSSATO; NEUHAUS, 2011).

O tanque primário (interno) é fabricado segundo a ABNT NBR 13312 em chapas de aço carbono. O tanque secundário (externo) é fabricado com fibra de vidro reforçada, desenvolvido para suportar ataques do solo e especialmente de combustíveis automotivos, conforme a Fig. (2.6).

Entre os dois tanques existe o espaço intersticial anular, formado por um material separador.

No espaço intersticial existe um tubo de monitoramento que faz a comunicação com o meio externo, através de um sensor eletrônico que monitora vazamentos.

**Figura 2.6. Tanque ecológico.**



Fonte: Combustanq.

### 2.5.2 Acessórios

Para evitar que, em casos de vazamentos ou derrames, combustíveis entrem em contato com o solo, são instalados equipamentos que ecológicos.

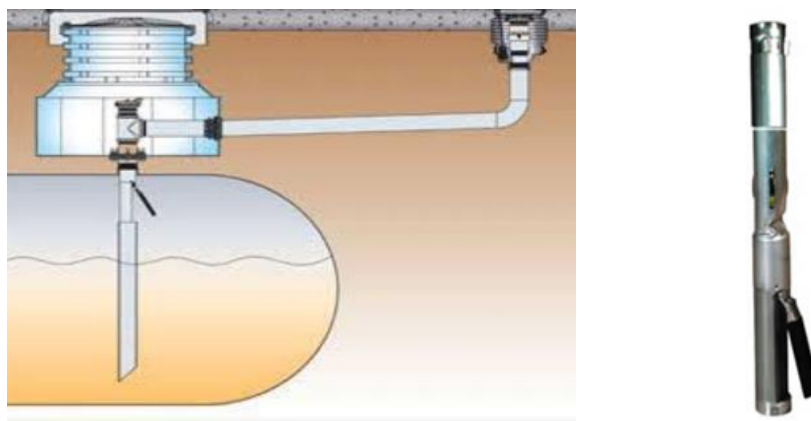
Esses acessórios obedecem, em sua instalação, a recomendação dos fabricantes e a legislação vigente, entre as quais se destacam:

- ABNT NBR 13783 (2014), Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Instalação dos componentes do sistema de armazenamento subterrâneo de combustíveis (SASC);
- ABNT NBR 13786 (2014), Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Seleção dos componentes para instalação de sistema de armazenamento subterrâneo de combustíveis (SASC).

#### 2.5.2.1 Válvula Antitransbordamento

Essa válvula atua como um dispositivo de proteção, bloqueando a descarga quando o tanque atinge o limite de 95% de sua capacidade nominal, evitando assim derramamento (ABNT NBR 15005, 2009). É instalada no tanque, conforme a Fig. (2.7).

**Figura 2.7. Válvula antitransbordamento.**

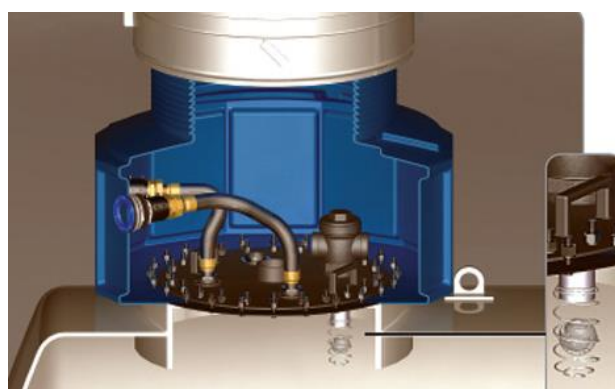


Fonte: Brasil Postos.

#### 2.5.2.2 Válvula de esfera flutuante

Essa válvula tem duas finalidades: a primeira é a proteção da linha de respiro, evitando a entrada de combustível líquido; a segunda é seu uso em sistema de recuperação de vapores. É instalada na linha de respiro (ABNT NBR 15015).

**Figura 2.8. Válvula de esfera flutuante.**



Fonte: Zeppine.

#### 2.5.2.3 Câmara de contenção da boca de visita

Instalado no tanque, a câmara de contenção é um acessório que promove a segurança ambiental (MARTINS, 2015), uma vez que cria um

acesso hermeticamente isolado entre meio ambiente (solo) e os componentes instalados no tanque como: tubulações, sistemas eletrônicos etc.

**Figura 2.9. Câmara de contenção da boca de visita.**



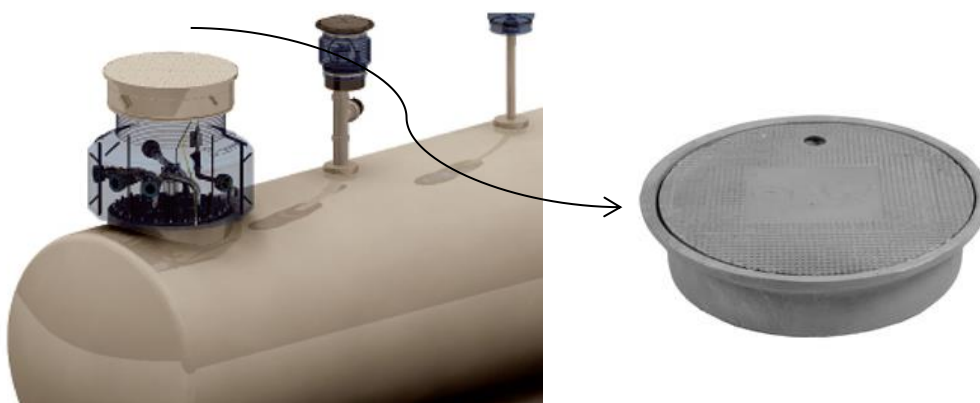
Fonte: Zeppine.

#### 2.5.2.4 Câmara de calçada

Acessório instalado no tanque de combustível que permite acesso a tampa de inspeção. É instalada ao nível do piso impermeável, localizada na praça de tanques (NBR ABNT 15118, 2011).

Ela é projetada para suportar cargas de até 10.000 kgf / 0,2 m<sup>2</sup>, com capacidade para suportar tráfego de veículos. É construída geralmente em aço, possui saia com proteção lateral e é antiderrapante.

**Figura 2.10. Câmara de calçada.**



Fonte: OPW

### 2.5.2.5 Câmara de contenção de descarga de combustíveis

Na operação de descarga de combustível é comum o derrame e respingos de combustível. Para se evitar tal inconveniente é instalado um acessório que evita que o combustível venha a contaminar o solo, a câmara de contenção (ABNT NBR 15118, 2011).

A câmara de contenção é um elemento fixado entre o tubo de descarga e a pista de tráfego com capacidade de contenção de 30 litros. É projetado para absorver os movimentos dos solos.

É instalado na pista de concreto, especificamente na praça de tanques, e utilizada quando do carregamento de combustíveis pelo caminhão tanque. Promove a chamada descarga selada, pois, caso ocorra algum vazamento durante o abastecimento ou proveniente das tubulações é contido, ficando na câmara.

**Figura 2.11. Câmara de contenção de descarga de combustíveis.**



Fonte: Zeppini.

### 2.5.2.6 Tubulação de monitoramento e medição

Este tipo de tubulação é de aço galvanizado (NBR ABNT 14867, 2011) e tem como funções a detecção de vazamentos e o monitoramento volumétrico do tanque.

Essa tubulação interliga as bocas de visita, câmaras de contenções e unidades de filtragem, indo pra um equipamento (computador com software específico) que recebe as informações, decodifica e apresenta os resultados.

É composta pela fiação elétrica, alarmes e sensores que atuam do monitoramento do sistema subterrâneo de abastecimento de combustíveis.

**Figura 2.12. Tubulação de monitoramento e medição.**



Fonte: Brasil Postos.

#### 2.5.2.6 Válvula de pressão e vácuo

Dispositivo instalado no terminal da linha de respiro, quando o ponto de fulgor com combustível é menor que 60°C (API, 2008). Impede que corpos estranhos adentrem o SASC, com água, bichos etc. Cada compartimento de um tanque possui, na extensão final da linha de respiro uma válvula deste tipo.

É projetada para direcionar a saída de vapores de combustíveis, provenientes dos tanques, minimizando assim sua concentração no entorno do posto.

**Figura 2.13. Válvula de pressão e vácuo.**



Fonte: Zeppini.

### 2.5.2.6 Tubulações de combustíveis

A tubulação que conduz os combustíveis é de material especial, PEAD (Polietileno de Alta Densidade), material não metálico, projetada exclusivamente pra transporte deste fluido (NBR ABNT 14722, 2011).

**Figura 2.14. Tubulações de combustíveis.**



Fonte: BTflex.

### 2.5.3 Bombas de abastecimento

As bombas de abastecimentos são dispositivos eletromecânicos responsáveis pela sucção e medição do combustível existente no tanque subterrâneo até o tanque do veículo a ser abastecido (NBR ABNT 16517, 2016).

**Figura 2.15. Bombas de abastecimento.**



Fonte: Wayne.

Com a finalidade de evitar que possíveis derramamentos de combustíveis atinjam o meio ambiente são instalados dispositivos que impedem tal feito.

Para instalações desses dispositivos devem ser observados as orientações dos fabricantes e as recomendações da legislação.

### 2.5.3.1 Câmara de contenção da bomba de abastecimento

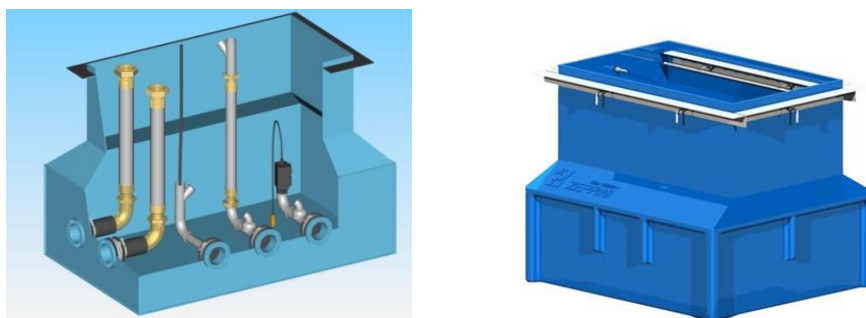
Construída com um material não corrosível, PEAD, a câmara de contenção é instalada abaixo da bomba de abastecimento, criando uma área isolada do meio ambiente e, em casos de vazamentos, protege o solo de possíveis contaminações (ABNT NBR 15118, 2011).

Além disso, nas manutenções periódicas realizadas nas bombas, a câmara de contenção, também chamada de *sump*, mantém contidas nela qualquer resquício de combustível ou outros contaminantes.

Nessa câmara ficam contidas as conexões que vem do tanque subterrâneo, fazendo suas interligações entre bombas, tanques e filtros. Além disso, um sensor para detecção de vazamentos é instalado sendo interligado ao sistema de monitoramento ambiental do posto.

Quando da instalação, devem ser realizados testes de estanqueidade, devido sua importância primordial: evitar possíveis vazamentos de combustíveis ao meio ambiente. Estando o *sump* colocado, poderá dar prosseguimento às instalações.

**Figura 2.16. Sump de bomba.**



Fonte: Zeppini.

### 2.5.3.2 Válvula de Retenção

A válvula de retenção ou check válvula tem a finalidade manter a linha de combustível sempre preenchida com produto, fazendo assim que as bombas de abastecimento sejam sempre operacionais. Ele direciona o fluxo de combustível em uma direção (ABNT NBR 15139, 2014).

Também é destacado o fator ambiental deste acessório, pois essa válvula só funciona quando do perfeito funcionamento da linha de combustível e seus acessórios, havendo perda, o combustível retorna ao tanque, evitando vazamentos.

**Figura 2.17. Check válvula.**



Fonte: Zeppini.

### 2.5.3.3 Válvula de segurança contra abalroamento

Um acessório de segurança indispensável nas bombas de combustível são as válvulas contra abalroamento (NBR ABNT 13786, 2014).

Em caso de acidente a válvula rompe-se e fecha imediatamente o fluxo de combustível, minimizando o derramamento no local onde é realizado o abastecimento.

**Figura 2.18. Válvula contra abalroamento.**

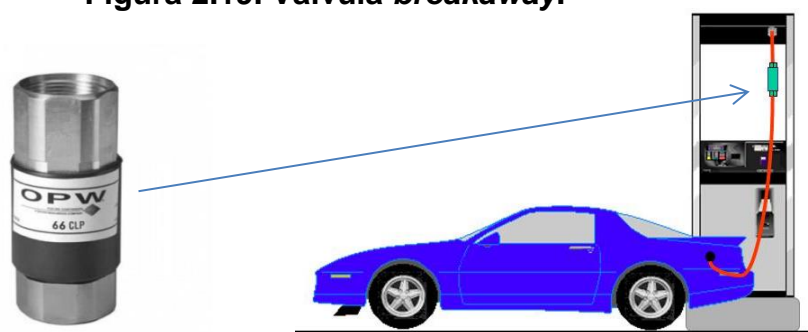


Fonte: Zeppini.

#### 2.5.3.4 Válvula *breakaway*

Esta válvula tem como função proteger o abastecimento. Ela é instalada na mangueira da bomba de combustível (ABNT NBR 15427, 2006). Quando a mangueira é submetida a uma tração, chegando ao ponto de romper-se, a válvula *breakaway* é acionada, interrompendo o fluxo de combustível, evitando assim grandes derrames de combustível na pista de abastecimento, protegendo não só as instalações do posto, mas o meio ambiente e as pessoas presentes.

**Figura 2.19. Válvula *breakaway*.**



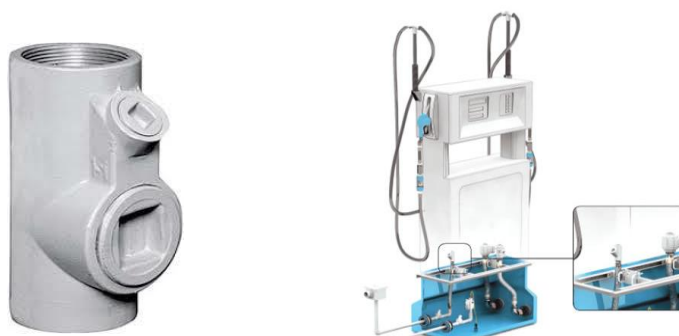
Fonte: OPW.

### 2.5.3.5 Unidade Seladora

Esse dispositivo é instalado em instalações elétricas com áreas classificadas como de risco (ABNT NBR 14639, 2014), segundo a Norma Regulamentadora (NR 10) do Ministério do Trabalho e Previdência Social.

Quando um eletroduto, proveniente de uma instalação elétrica, ultrapassa uma área não classificada para um classificada, é obrigatório o uso de unidade seladora, de forma a prevenir a passagem de gases oriundos dos combustíveis. Essas unidades são a prova de explosão.

**Figura 2.20. Unidade seladora.**



Fonte: Telbra.

### 2.5.4 Filtro de Diesel

Dispositivo (reservatório) que tem como finalidade a filtração do óleo diesel, por meio de placas de papel de celulose (algodão puro).

É um elemento a prova de explosões e é interligado ao tanque subterrâneo que armazena o produto e a bomba de abastecimento. Sua instalação é de tal modo que fique entre o tanque subterrâneo e a bomba de abastecimento. Geralmente é localizado na pista de abastecimento, próximo a bomba de diesel (ABNT NBR 15473, 2014).

Com o uso do filtro de diesel a qualidade do combustível é aumentada, pois segundo Sérgio Cintra, presidente da Ambiental Metalsinter,

“Os maiores benefícios da filtragem de combustíveis estão ligados aos fatores ambientais, pois com a purificação do produto, a queima do combustível é melhor, resultando em menor consumo (km/l), menos

poluição e menos manutenção, fatores fundamentais para os transportadores e usuários dos veículos (...)"

Além da questão ambiental o uso do filtro garante uma maior vida útil ao motor e ao sistema de injeção dos automóveis.

O filtro de diesel é formado, basicamente, dos seguintes elementos:

- Manômetro de entrada;
- Válvula de segurança;
- Chassi, caixa da prensa e reservatório fabricados em aço carbono;
- Eletrobóia interna para controle de nível;
- Motor elétrico e caixa de comando;
- Visor passagem na entrada do reservatório;
- Mangueira visora de nível.

**Figura 2.21. Filtro de diesel.**



Fonte: Metalsinter.

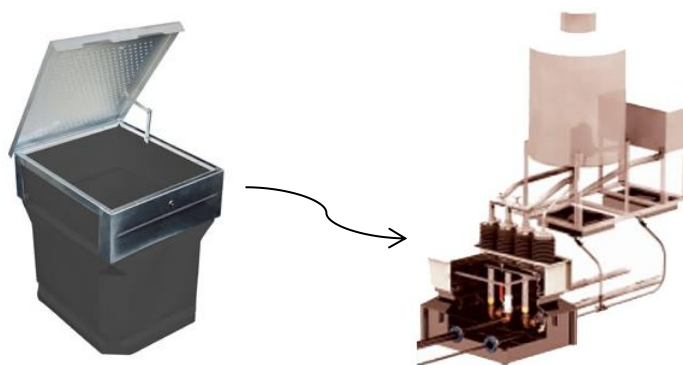
#### 2.5.4.1 Câmara de contenção do filtro de diesel

São equipamentos instalados com a finalidade de evitar e/ou minimizar possíveis vazamentos de combustíveis para o solo. Também atuam como caixa de inspeção ou operação (ABNT NBR 15118, 2011).

A câmara recebe todos os elementos de ligação provenientes dos tanques e das bombas como: tubulações, conexões de transição, registros, válvulas etc. É instalado ao lado do filtro de óleo diesel, sendo indispensável sua presença.

Em caso de derrames ou vazamentos provenientes dos elementos de ligação o combustível fica nela contido.

**Figura 2.22. Câmara de contenção do filtro de diesel.**



Fonte: Zeppini.

#### 2.5.5 Sistema de drenagem oleosa

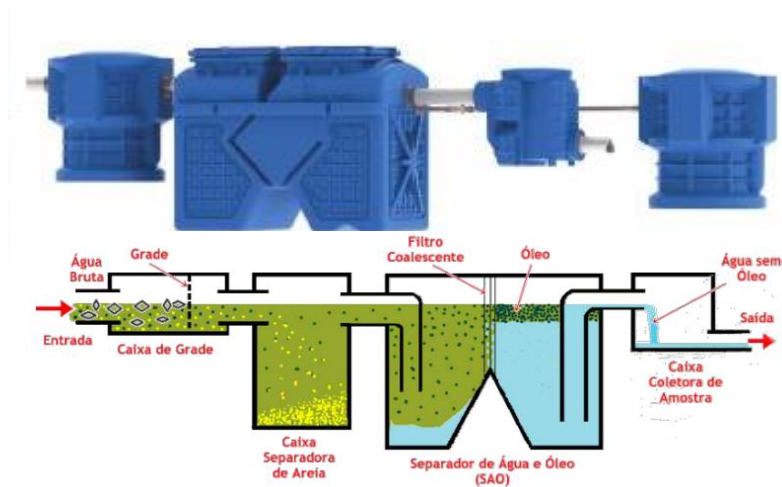
Esse sistema tem como objetivo conduzir todos os resíduos derivados de petróleo até uma caixa separadora de água e óleo (CSAO), principal componente do sistema, que realizará a separação das partículas de óleo, gasolina e sólidas da água (ABNT NBR 14605-2, 2010).

Após a separação, uma empresa devidamente licenciada coleta os resíduos, dando destinação adequada, de acordo com a legislação vigente.

O sistema de drenagem oleosa (SDO) é composto de canaletas, caixas coletoras, tubulações de drenagem, caixas de areia, caixa separadora de água e óleo e, quando necessário, sumidouro para descarte dos efluentes. Esse sistema tem a finalidade de coletar os resíduos provenientes da área de abastecimento, da praça de tanques, oficinas entre outros.

O SDO é composto, basicamente, pelos seguintes equipamentos: coletores de afluentes, caixa de inspeção com filtro, módulo pré-filtro (MPF), caixa separadora de água e óleo (CSAO), módulo de inspeção de efluentes (MIE) e módulo de coleta de óleo (MCO).

**Figura 2.23. Sistema de drenagem oleosa.**



Fonte: Zeppini.

### 2.5.6 Piso impermeável e canaletas

É fundamental, nos locais de abastecimento, seja dos tanques subterrâneos, seja ao redor das bombas a presença de piso impermeável.

O derrame de combustíveis no momento do abastecimento é quase sempre comum durante um dia de atividades no posto de serviço. Embora em pequenas quantidades e controlados, esses combustíveis entornados em contato com o solo são absorvidos, gerando a contaminação.

Para que isso seja evitado, em tais áreas do posto, é imprescindível a presença de piso impermeável, pois como o próprio nome sugere, evita o contato direto do combustível com o solo, uma vez que o concreto usado no piso não permite a penetração de combustível para o solo, criando o isolamento (NBR ABNT, 2016).

Devido a essa propriedade do piso, o combustível pode ser conduzido de maneira segura às canaletas, que circundam os pisos impermeáveis e são conectadas ao sistema de drenagem oleosa do posto, realizando dessa forma um controle adequado e ambientalmente correto dos combustíveis derramados.

**Figura 2.24. Piso impermeável e canaletas.**



Fonte: Posto Ipiranga.

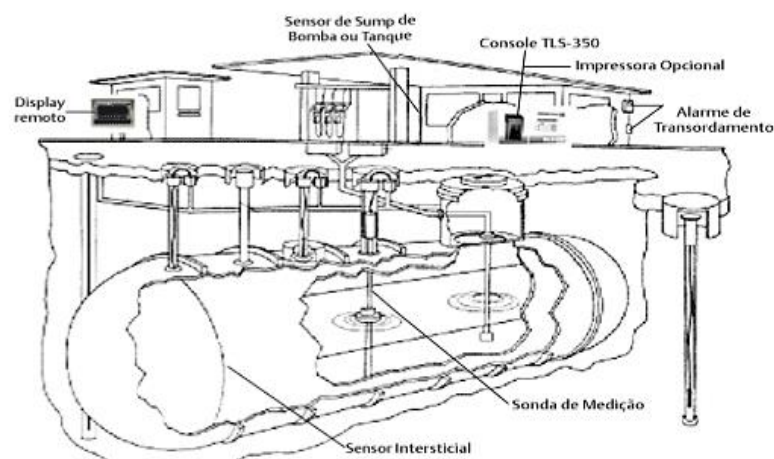
### 2.5.7 Sistema de monitoramento ambiental e controle de volume

Os sistemas de monitoramento ambiental e controle estoque têm duas funções: a primeira é o monitoramento dos tanques e a segunda é a medição automática do inventário de combustíveis (NASCIMENTO, 2013).

A monitoração dos tanques assegura o cumprimento da legislação ambiental, ABNT NBR 13784, e a preservação do meio ambiente. É composto por sensores que detectam a presença de vazamentos e são conectados a um computador central (console) que indica o estado do SASC. Esses sensores podem ser colocados:

- Nos interstícios dos tanques de parede dupla;
- Nas câmaras de contenção das bombas de abastecimento;
- Nas câmaras de contenção do filtro de diesel;
- Nas câmaras de contenção da boca de visita;
- Nos poços de monitoramento;
- Entre outros.

**Figura 2.25. Sistema de monitoramento ambiental e controle de volume.**



Fonte: Brasil Postos.

### 2.5.8 Sistema de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA)

O SPDA instalado em postos revendedores de combustível visa à proteção da estrutura das edificações contra as descargas atmosféricas que a atinjam de forma direta (ABNT NBR 5419-3, 2015).

**Figura 2.26. SPDA.**



Fonte: Arquivo pessoal

---

## **CAPÍTULO 3**

### **MATERIAIS E MÉTODOS**

---

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são descritos os combustíveis utilizados nesta pesquisa e a metodologia utilizada para obtenção da taxa de evaporação.

#### 3.1 Materiais

No Brasil os combustíveis líquidos mais utilizados são: gasolina, etanol e diesel.

A gasolina apresenta três tipos mais comuns que são vendidos em postos revendedores de combustível: gasolina comum (GC), aditivada (GA) e *Premium*. A comum, denominada Tipo C, possui um percentual de etanol anidro em sua composição, percentual este estipulado pelo governo federal; a gasolina aditivada é formada pela gasolina do tipo C acrescida de uma quantidade maior de detergentes; a *Premium* possui maior octanagem em relação às mencionadas, proporcionando uma melhor queima do combustível, apresenta menor teor de enxofre que a do Tipo C e aditivada, entretanto é a que tem maior custo.

O Etanol combustível apresenta a versão comum e aditivada. O do tipo comum é hidratado, pois sua forma pura não promove a lubrificação satisfatória do motor; já o aditivado possui agentes que proporcionam uma melhor limpeza dos elementos internos do motor.

O diesel é um combustível que requer algumas condicionantes para seu uso no Brasil. Segundo o Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) a carga total a ser carregada pelo veículo, o tipo do veículo e algumas especificidades (como o uso de tração 4x4 com caixa de redução) são fatores que determinam ou uso ou não desse combustível. Existem dois tipos de diesel comercializados no Brasil, o S10 e o S500. O S10 tem esse nome devido ao seu teor de enxofre (S) que é de 10 ppm (partes por milhão), além de possuir um percentual de biodiesel em sua composição; o S500 já está em desuso nas capitais e regiões metropolitanas, isto é devido ao alto teor de enxofre, 500 ppm, facilitando uma maior contaminação do ar atmosférico.

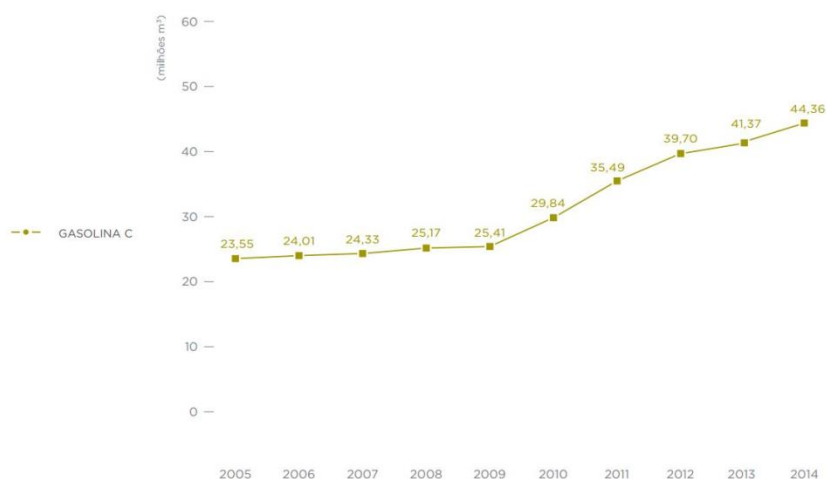
Dos nove combustíveis mencionados, a base dessa pesquisa, para cálculo da taxa de evaporação, foram selecionados: gasolina comum, etanol hidratado combustível, diesel S10 e gasolina aditivada (GRID), todas da PETROBRAS® Distribuidora.

### 3.1.1 Gasolina Comum

Derivada do petróleo, a gasolina é formada por inúmeros compostos químicos (*olefinas, hidrocarbonetos aromáticos etc.*) dentre os quais se destacam os contaminantes mais solúveis em água, os compostos BTEX (Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos), presentes em 18% no peso da gasolina (BRCIC, 2004).

É obtida a partir da destilação do petróleo bruto, acrescido de tratamentos térmicos e termocatalíticos, necessário para maior obtenção de gasolina, uma vez que a destilação, por si só, não proporciona a quantidade necessária de combustível para atender a demanda mundial. A seguir é apresentado o quantitativo de gasolina tipo C vendida no Brasil.

**Figura 3.1. Evolução das vendas nacionais de gasolina comum, em milhões de m<sup>3</sup>.**



Fonte: ANP/SAB (2015). Adaptado pelo autor.

Como pode perceber pela figura acima, o consumo de gasolina comum vem crescendo nos últimos anos, o que leva toda a cadeia produtiva a ampliar

as proteções ambientais com a produção, transporte e manuseio deste produto. É o segundo combustível fóssil mais vendido no Brasil, gerando uma receita de aproximadamente, R\$ 215.000.000, de acordo com a ANP (2015).

A gasolina comum é utilizada em motores de ignição por centelha, por possuir queima rápida, este fato é resultado da menor viscosidade e menor pressão de vapor comparativamente ao óleo diesel.

A gasolina pertence ao grupo dos LNAPL (*Light Non Aqueous Phase Liquids*) e PMOS (*Partially Miscible Organics Solubility*), líquido imiscível menos denso que a água, ou orgânico parcialmente imiscível em água (MINDRISZ *et al.*, 2006), possuindo moléculas com 5 a 13 átomos de carbono.

Uma característica química da gasolina é a sua volatilidade, que pode ser definida como a tendência de um fluido passar para o estado gasoso, quando ele tem facilidade de evaporar a baixas temperaturas. A volatilização está diretamente relacionada com o ponto de ebulição. Quanto mais volátil um fluido, mais possibilidade existe da ocorrência das emissões fugitivas. Dos combustíveis em estudo nesta pesquisa, a gasolina é o mais volátil deles, basta comparar os pontos de ebulição de cada combustível.

A gasolina apresenta características de combustão insatisfatórias devido à presença de alcanos de cadeia linear e cicloalcanos em sua composição (LING *et al.*, 2012).

A Portaria ANP nº 309, de 27/12/2001, por meio do regulamento técnico nº 5/2001 define o quantitativo máximo de hidrocarbonetos aromáticos e olefínicos permissíveis na gasolina tipo C, 45 % do volume e 30% do volume, respectivamente. A gasolina comum Petrobras apresenta 35 % do volume de hidrocarbonetos aromáticos e 25% do volume de hidrocarbonetos olefínicos; some-se a isto a quantidade de enxofre estimada em 50 mg/Kg (valor máximo).

A gasolina apresenta em sua composição inúmeras substâncias tóxicas (EDOKPOLO; YU; CONNELL, 2014), algumas cancerígenas como o butadieno e o benzeno; além destes, o n-hexano, tolueno e xileno agredem o sistema nervoso central e o n-butano causam narcose. Essas substâncias estão mais concentradas na fase de vapor, daí a importância de mantê-los sob controle.

Do grupo BTEX, o mais prejudicial à saúde humana é o benzeno (JIAN et al., 2011). A exposição, tanto a curto prazo quanto a longo prazo, traz diversos malefícios à saúde (SIGUT; ALAYÓN; HERNÁNDEZ, 2014).

O limite de exposição ocupacional à gasolina de um trabalhador, segundo a ACGIH (Conferência Americana de Higienistas Industriais Ocupacionais), sujeito a um regime de 40 horas semanais, sendo 8 horas diárias, é de  $890 \text{ mg/m}^3$ . Grandes quantidades de vapores de gasolina inalados podem levar a morte (ACGIH, 2001).

Com relação ao meio ambiente a gasolina comum pode atingir o meio ambiente através de vazamentos no SASC ou por meio da condensação de vapores de combustível liberados à atmosfera (FERREIRA; SILVA; LIMA, 2015). A contaminação do solo é conhecida como passivo ambiental. Já os vapores são resultados das operações de operação e abastecimento do SASC, das motos e automóveis.

Uma peculiaridade diferencia a gasolina brasileira das demais nações, a presença considerável de etanol anidro, que atualmente corresponde a 27 % do volume (Portal G1, março de 2016). Essa mistura ocorre desde 1919. Este fator faz que estudos similares, envolvendo a gasolina, em outros países possam apresentar resultados diferentes quando realizados no Brasil (POULIOT, 2013).

O etanol é adicionado à gasolina em substituição ao chumbo tetra-etila, substância que tem seu uso proibido no Brasil. Com a adição de álcool, a gasolina comum tem um aumento na octanagem, variando entre 87 a 95 (SANTOS; PEIXOTO, 2008).

O percentual de etanol adicionado à gasolina é definido pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), através de portaria MAPA Nº 75 DE 05/03/2015. Este percentual é alterado, pelo governo federal, de acordo com a disponibilidade de matéria-prima e variações nos preços da gasolina e etanol existentes no mercado interno e externo.

A seguir a Tab. 3.1 apresenta as principais propriedades da gasolina comum.

Tabela 3.1. Propriedades físico-químicas da gasolina comum.

Gasolina comum	
Aspecto (estado físico, forma e cor)	Líquido límpido e amarelado (isento de materiais em suspensão)
Odor e limite de odor	Forte e característico.
PH	Não aplicável
Ponto de fusão/ponto de congelamento	Não disponível.
Ponto de ebulição inicial e faixa de temperatura de ebulição	>35°C.
Ponto de fulgor	< - 43 °C.
Taxa de evaporação	> 1 (acetato de n-butila = 1).
Inflamabilidade (sólido e gás)	Não aplicável.
Pressão de vapor	Não disponível.
Densidade de vapor	79 kPa @ 37,8 °C (máximo).
Densidade relativa	Não disponível
Solubilidade	Não disponível
Coefficiente de partição – noctanol/água	Insolúvel em água. Solúvel em solventes orgânicos
Temperatura de decomposição	Não disponível
Viscosidade	Não disponível.
Outras informações	Densidade: 0,73 – 0,77 Parte volátil: 100% (v/v) Faixa de destilação: 27 - 220 °C a 101,325 kPa (760 mmHg)

Fonte: FISPQ.

Neste trabalho, para estudo da taxa de evaporação e, por conseguinte análise de custos das perdas por evaporação, tem-se a gasolina comum da PETROBRAS® Distribuidora um dos objetos de estudo.

### 3.1.2 Álcool combustível

O álcool combustível também é conhecido por etanol hidratado combustível (EHC), álcool etílico ou álcool de biomassa. É considerado um biocombustível (LAGERCRANTZ, 2006), por ser derivada de uma biomassa renovável.

Obtido a partir da fermentação do açúcar (GOLDEMBERG, 2008), o etanol é um combustível ecologicamente correto (ANDERSON, 2009), pois atua na redução do gás carbônico na atmosfera, isto durante o período de plantio nos canaviais. Também pode ser obtido de qualquer biomassa que contenha açúcar, amido ou celulose (GNANSOUNOU; DAURIAT, 2005; SCANDIFFIO, 2005). No Brasil, o EHC é produzido da cana-de-açúcar.

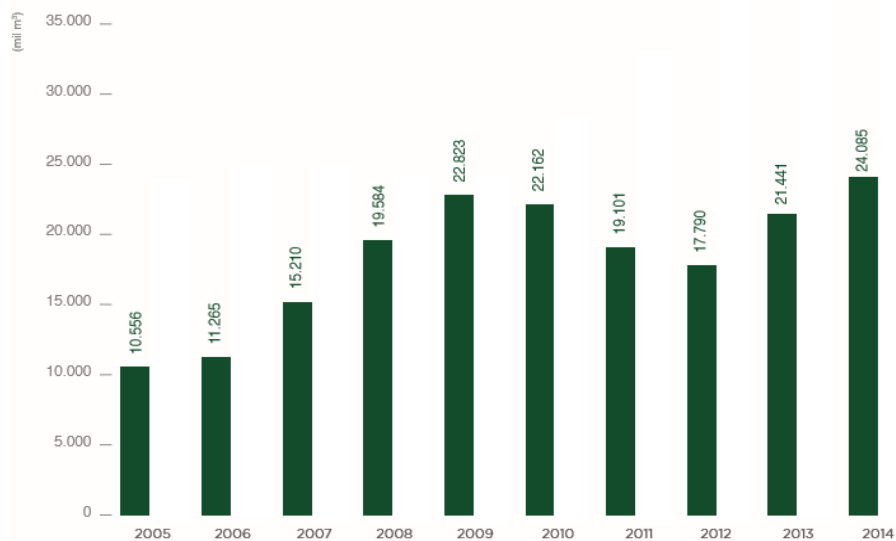
No Brasil a produção do álcool é realizada nas usinas. Lá a cana-de-açúcar passa pelas seguintes etapas: escolha adequada da cana (maior teor de sacarose), retirada das impurezas, picagem, desfibrilagem, moagem (produção do caldo e do bagaço), produção do mosto (purificação do caldo), fermentação (4 a 12 horas) e destilação.

Existem dois tipos de etanol: o hidratado e o anidro. Este é o combustível misturado à gasolina (DE FREITAS; KANEKO, 2011); aquele é o utilizado como combustível nos veículos, caracterizado por poder ser utilizado diretamente nos motores do ciclo Otto e ser higroscópico, misturando-se, em qualquer proporção, com água (MORAES, 1980). De acordo com a Petrobras, o uso de álcool anidro diminui a validade da gasolina de três meses para um mês.

O álcool anidro aumenta o teor de oxigenados na gasolina (esse fator promove a diminuição da emissão de CO), e apresenta teor alcoólico entre 99,3% a 99,8 %, a 20 °C. Em nosso país não existem carros leves que abasteçam com gasolina pura, toda a gasolina apresenta uma fração de seu volume de álcool anidro. O EHC aparece com teor alcoólico entre 92,6% e 93,8% de álcool, sendo do restante de água, daí a designação “hidratado”.

A figura 3.2 mostra a quantidade de álcool anidro e hidratado vendido no Brasil em um período de dez anos. Em termos individuais, o álcool anidro representa 41% e o hidratado 59% (para o ano de 2014) do valor total apresentado no gráfico.

**Figura 3.2. Evolução das vendas nacionais de álcool anidro e hidratado, em milhões de m<sup>3</sup>.**



Fonte: ANP/SAB (2015). Adaptado pelo autor.

O etanol hidratado combustível é o biocombustível mais vendido no Brasil em postos revendedores, gerando uma receita de aproximadamente, R\$ 65.000.000 de acordo com a ANP (2015). O aumento no consumo é devido ao uso da tecnologia *flex* nos veículos leves e também ao percentual elevado (se comparado aos outros países) de álcool anidro misturado na gasolina (DE FREITAS; KANEKO, 2011).

A tecnologia *flex* foi desenvolvida a partir dos motores a álcool, possibilitando não só o uso de 100% de álcool no motor, quanto o uso do álcool misturado à gasolina. Um sensor eletrônico, localizado na linha de combustível, mede o teor de álcool e ajusta automaticamente o motor para que trabalhe em consonância com a mistura (TEXEIRA, 2005).

No que diz respeito à poluição, o álcool é menos ofensivo que seus concorrentes, entretanto não deixa de ser prejudicial ao meio ambiente, gerando contaminação do solo e lençóis freáticos, além disso, os vapores de álcool podem produzir uma atmosfera explosiva em contato com o ar, requerendo maiores cuidados nos postos revendedores de combustível.

O do tipo anidro, misturado à gasolina, quando em contato com a água agrava a contaminação, pois, por ser solvente (assim como o hidratado), aumenta os tóxicos de gasolina liberados, é o denominado comportamento de

co-solvência (FERNANDES, 1997; ROCHA *et al.*, 2000). Outra questão é o aumento da volatilização de compostos BTEX em função da presença do etanol na gasolina, relatado em estudo brasileiro (FINOTTI *et al.*, 2009).

No organismo humano o EHC pode provocar depressão no sistema nervoso central, dor de cabeça, vertigens, sonolência, confusão mental, irritabilidade, danos hepáticos, irritação nos olhos, ressecamento da pele, náuseas, diarreia, dor abdominal, abortos espontâneos e problemas no desenvolvimento do feto.

A seguir a Tab. 3.2 apresenta as principais propriedades do EHC.

**Tabela 3.2. Propriedades físico-químicas do álcool combustível.**

<b>Etanol Hidratado Comum</b>	
<b>Aspecto (estado físico, forma e cor)</b>	Líquido límpido e incolor.
<b>Odor e limite de odor</b>	Característico. Limite de odor: 180 ppm
<b>PH</b>	6,0 - 8,0
<b>Ponto de fusão/ponto de congelamento</b>	-117 °C
<b>Ponto de ebulição inicial e faixa de temperatura de ebulição</b>	77 °C
<b>Ponto de fulgor</b>	15°C (vaso fechado)
<b>Taxa de evaporação</b>	Não disponível.
<b>Inflamabilidade (sólido e gás)</b>	Produto inflamável.
<b>Pressão de vapor</b>	5,8 kPa a 20°C
<b>Densidade de vapor</b>	1,6 (ar = 1)
<b>Densidade relativa</b>	0,8 (água a 4°C = 1)
<b>Solubilidade</b>	Não disponível
<b>Temperatura de auto-ignição</b>	363 °C
<b>Temperatura de decomposição</b>	Não disponível
<b>Viscosidade</b>	1,20 cP à 20°C
<b>Outras informações</b>	Não aplicável.

Fonte: FISPQ.

O EHC da PETROBRAS® Distribuidora será um dos objetos de estudo para determinação da taxa de evaporação em função da temperatura, por meio de uma análise experimental.

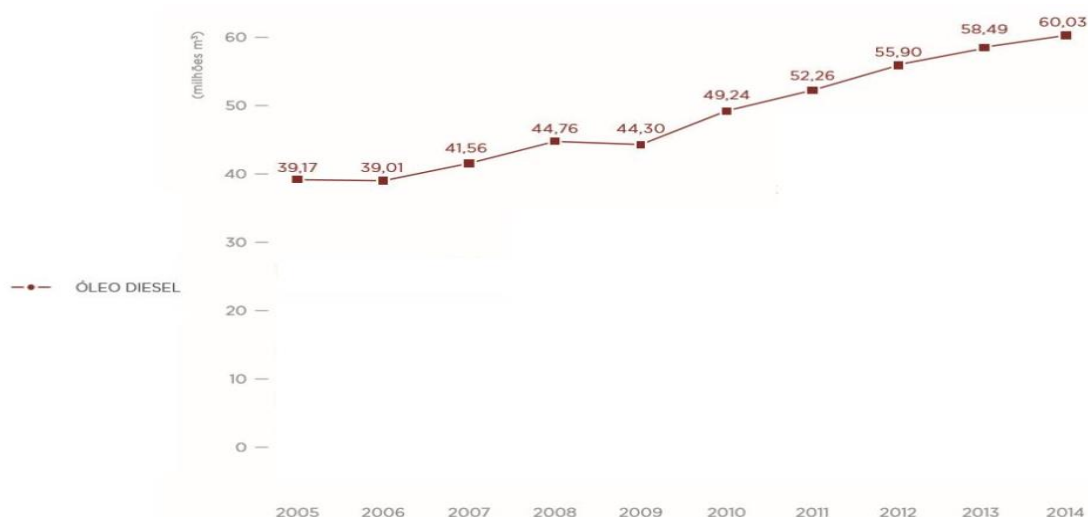
### 3.1.3 Diesel S10

Derivado do petróleo, o óleo diesel é uma mistura de hidrocarbonetos (alcanos lineares e ramificados), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, HPA, (naftaleno, fenatreno, bezantraceno, bezapireno), nitrogênio, enxofre, oxigênio etc., esses em menores concentrações (ADEBUSOYE *et al.*, 2010; ALKIO *et al.*, 2005).

Sua produção é menos onerosa que seu concorrente fóssil, a gasolina. Por exigir menos refino, seu custo de produção é menor, o que gera um preço final de revenda mais baixo, visivelmente notado nos postos revendedores de combustível.

É o combustível mais comercializado no Brasil. O óleo diesel brasileiro tem em sua composição uma porcentagem de biodiesel na mistura, atualmente o valor corresponde a 7% do volume, todavia no ano de 2019 o valor será de 10%, aumentando ano após ano a porcentagem (Lei 13.263, 2016).

**Figura 3.3. Evolução das vendas nacionais de óleo diesel, em milhões de m<sup>3</sup>.**



Fonte: ANP/SAB (2015). Adaptado pelo autor.

O óleo diesel é usado em motores de ignição por compressão. O óleo diesel tem uma densidade energética 15 % maior que a gasolina, aproximadamente.

Uma característica desse combustível é a viscosidade, que indica a resistência de um fluido ao escoamento. Isto é importante em motores de ignição por compressão, uma vez que quanto maior a viscosidade menor a eficiência do sistema de injeção, por dificultar a atomização, o que favorece a queima incompleta do óleo diesel, gerando aumento na emissão de CO, fumaça e particulado.

Quanto à volatilização o óleo diesel apresenta menor valor em relação à gasolina e ao álcool combustível. Isso acontece devido a maior quantidade de carbonos presentes em suas cadeias, deixando-o mais pesado que os outros combustíveis.

O combustível diesel S-10 é o diesel com teor de enxofre máximo de 10 mg/kg. Essa recomendação é um atendimento a legislação nacional, o PROCONVE, Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores, vinculado ao CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente.

Esse programa instituiu que, no Brasil, veículos fabricados a partir de 2012, teriam que ter diminuir a quantidade de emissões veiculares. Para isso, as montadoras e distribuidoras de combustíveis tiveram que realizar mudanças tanto no motor, quanto nos combustíveis (JOHNSON, 2009).

O diesel S10 reduz a quantidade de enxofre em sua composição, contribuindo assim para uma menor emissão desse particulado e, por consequente, diminuição da fumaça branca.

Este combustível apresenta maior número de cetano (48) que seus antecessores, o diesel S1800 e o S500, melhorando a qualidade da ignição. De acordo com KNOTHE (2006), o valor ideal de cetano para uso em motor diesel está compreendido entre 45 e 50.

As propriedades e características do óleo diesel de uso rodoviário são definidas pela Resolução ANP Nº 65 de dezembro de 2011.

O diesel S10 combustível é um composto orgânico volátil (COV), e como tal, apresenta em sua composição os compostos BTEX, prejudiciais a saúde humana (CLAXTON, 2014).

Um estudo realizado na África do Sul, onde foi avaliado os riscos potenciais para a saúde associados com vapores BTEX libertados de bombas de reabastecimento de diesel e as emissões de escape. Foi constatado, na avaliação de risco, que os funcionários estão em risco de efeitos cancerígenos, e o risco de câncer para todos os funcionários ultrapassa os limites de tolerância permissíveis pela OMS (Organização Mundial da Saúde). Esses vapores vem da vaporização do diesel e dos escapes dos carros (MOOLLA; CURTIS; KNIGHT, 2015).

EDOKPOLO et al. (2014) postula que a vaporização dentro postos de combustível são as principais fontes de benzeno na atmosfera nas proximidades. Em estudos semelhantes indicaram que, mesmo em países desenvolvidos, onde existem sistemas de recuperação de vapor, os frentistas de postos ainda estão expostos a altas concentrações de benzeno durante o abastecimento de automóveis.

O solo, vegetação e lençóis de água subterrânea também podem ser contaminados com vazamentos desse combustível, tanto na sua forma líquida, quanto na fase de vapor (ADAM, DUNCAN, 1999; 2002). Em contato com o solo ou subsolo, o fluido migra verticalmente ou por capilaridade no solo, contaminando-o, e ao atingir aquíferos forma um sistema binário, água e óleo, conhecida como Fase Líquida não Aquosa Leve (RAMALHO et al., 2014).

A seguir a Tab. 3.3 apresenta as principais propriedades do Diesel S10.

**Tabela 3.3. Propriedades físico-químicas do diesel S10.**

<b>Diesel S10</b>	
<b>Aspecto (Estado Físico, Forma E Cor)</b>	Líquido límpido.
<b>Odor e limite de odor</b>	Característico.
<b>PH</b>	Não aplicável
<b>Ponto de fusão/ponto de congelamento</b>	-40 - 6 °C
<b>Ponto de ebulição inicial e faixa de temperatura de ebulição</b>	150 - 471 °C
<b>Ponto de fulgor</b>	38 °C
<b>Taxa de evaporação</b>	Não disponível.
<b>Inflamabilidade (sólido e gás)</b>	Não aplicável.

<b>Pressão de vapor</b>	0,4 kPa a 40 °C
<b>Densidade de vapor</b>	Não disponível.
<b>Densidade relativa</b>	0,82 – 0,865 a 20°C
<b>Solubilidade</b>	Insolúvel em água
<b>Temperatura de autoignição</b>	225 °C
<b>Temperatura de decomposição</b>	400 °C
<b>Viscosidade</b>	2,5–5,5 cSt a 40 °C
<b>Outras informações</b>	Faixa de destilação: 100 – 400°C a 760 mmHg

Fonte: FISPQ.

O diesel S10 da PETROBRAS® Distribuidora será um dos objetos de estudo para determinação da taxa de evaporação, realizada de modo experimental.

#### 3.1.4 Gasolina Aditivada (GRID)

A gasolina aditivada já é realidade no comércio de combustíveis há mais de vinte anos. A gasolina GRID, da PETROBRAS® Distribuidora, foi lançada no mercado nacional no ano de 2014 em substituição à gasolina supra, primeira gasolina aditivada da empresa Petrobras lançada em 1992.

Algumas peculiaridades diferenciam a gasolina comum da aditivada, dentre elas destacam-se: a GRID apresenta aditivos detergentes, aditivos redutores de atrito e dispersantes, substâncias essas que contribuem para um melhor desempenho do motor e seus sistemas. Junte-se a isso o fator redutor de depósito de carbono no motor, reduzindo a emissão de gases poluentes, quando comparada a gasolina comum.

Segundo a Petrobras o aditivo modificador de atrito atua nos elementos internos do motor, como anéis de segmentos, pistões e cilindros, reduzindo o atrito entre eles, aproveitando melhor a energia mecânica. Esse aditivo ainda proporciona uma melhor retomada da velocidade nas acelerações.

Os aditivos detergentes promovem a limpeza do sistema de alimentação de combustível do motor, incluindo válvulas de admissão e bicos injetores.

**Tabela 3.4. Propriedades físico-químicas da gasolina GRID.**

<b>Gasolina GRID</b>	
<b>Aspecto (Estado Físico, Forma E Cor)</b>	Líquido límpido de coloração característica.
<b>Odor e limite de odor</b>	Característico.
<b>pH</b>	Não aplicável
<b>Ponto de fusão/ponto de congelamento</b>	Não disponível.
<b>Ponto de ebulição inicial e faixa de temperatura de ebulição</b>	Não disponível.
<b>Ponto de fulgor</b>	< -43 °C
<b>Taxa de evaporação</b>	Não disponível.
<b>Inflamabilidade (sólido e gás)</b>	Não aplicável.
<b>Pressão de vapor</b>	79 kPa a 37,8 °C
<b>Densidade de vapor</b>	Não disponível.
<b>Densidade relativa</b>	0,73 - 077
<b>Solubilidade</b>	Insolúvel em água
<b>Temperatura de autoignição</b>	Não disponível.
<b>Temperatura de decomposição</b>	Não disponível.
<b>Viscosidade</b>	Não disponível.
<b>Outras informações</b>	Faixa de destilação: 27 – 220°C a 760 mmHg

Fonte: FISPQ.

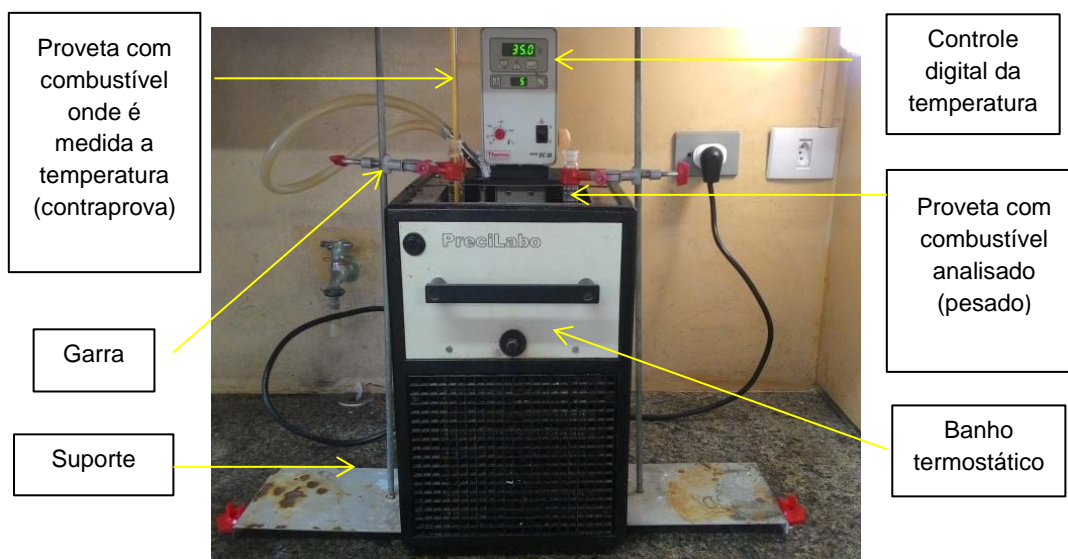
## **3.2 Metodologia**

O experimento foi montado com o intuito de calcular a taxa de evaporação, avaliando a porcentagem mássica evaporada durante o ensaio.

### *3.2.1 Equipamentos e acessórios*

Para cálculo da taxa de evaporação do combustível foram utilizados os seguintes equipamentos: banho termostático, balança analítica, proveta de 25 ml, termômetro químico, suporte para fixação da proveta e garras. Os equipamentos e acessórios eram dispostos conforme a Fig. (3.4).

**Figura 3.4. Disposição dos equipamentos durante o ensaio.**



Fonte: Arquivo pessoal.

### 3.2.1.1 Banho Termostático

É o equipamento responsável por manter a temperatura dos ensaios constante, de forma precisa. O banho termostático (Haake DC 30) utilizado nos experimentos é de fabricação PreciLabo.

Com uma faixa de temperatura compreendida entre 20 e 200 °C este equipamento tem um termostato que mantém a temperatura do banho no valor determinado, além de possuir uma bomba pra circulação do fluido (dessa forma uniformiza a temperatura do fluido).

**Figura 3.5. Banho termostático.**



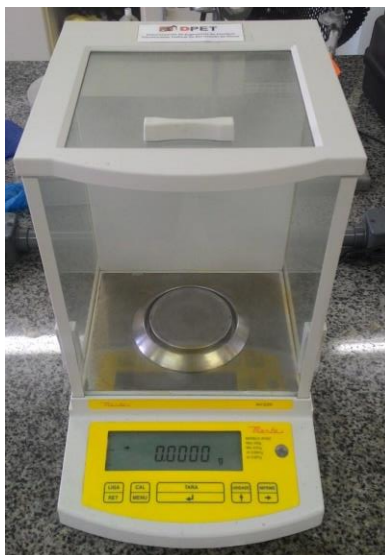
Fonte: Arquivo pessoal.

### 3.2.1.2 Balança analítica

A balança analítica é de fabricação da empresa Marte, que atua no mercado há mais de 65 anos e possui certificação ISO 9001.

Na análise experimental foi utilizada para pesagem do combustível evaporado. A balança possui as seguintes especificações: peso da balança, dimensões (216 mm de largura x 315 mm de profundidade x 330 mm de altura), temperatura de trabalho (entre 5 e 40 °C), capacidade máxima = 220 g, capacidade mínima = 0,01 g e sensibilidade = 0,0001 g, conforme apresentada na Fig. 3.6.

**Figura 3.6. Balança analítica.**



Fonte: Arquivo pessoal.

### 3.2.1.3 Proveta

Da marca Fortlabor, a proveta foi utilizada para armazenamento do combustível a ser analisado. Consiste em um vaso cilíndrico de vidro fechado em um dos lados, graduado e com capacidade de medir um volume máximo de 25 ml, com erro de medição na faixa de  $\pm 0,5$  ml.

Nos ensaios foram utilizadas duas provetas, ambas continham a mesma quantidade de combustível. A diferença estava na função exercida: uma era utilizada para pesagem do combustível evaporado; a outra para medição da

temperatura do combustível com um termômetro de mercúrio. Foi procedido dessa forma para que a temperatura do combustível estivesse, exatamente, na desejada. A Fig. 3.7 mostra as provetas utilizadas nessa pesquisa.

**Figura 3.7. Proveta.**



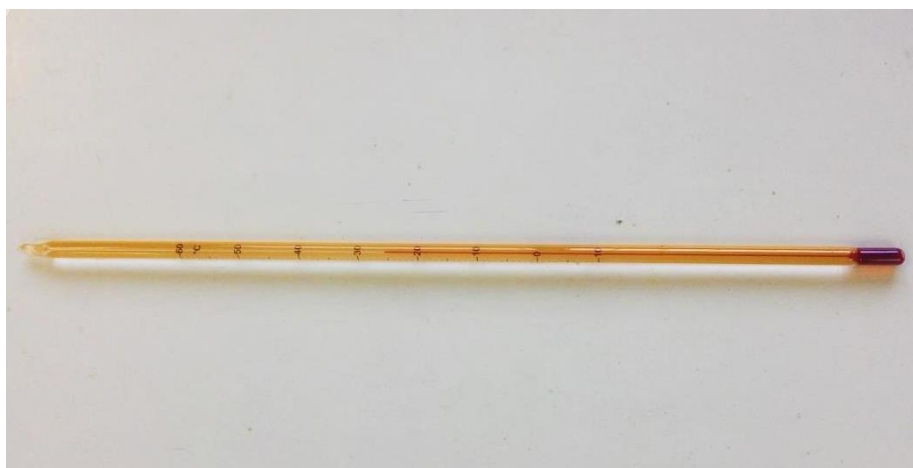
Fonte: Arquivo pessoal.

#### 3.2.1.4 Termômetro químico

Instrumento de medição de temperatura, o termômetro de mercúrio consiste em um tubo de vidro (cobertura amarela), graduado, fechado e que possui em sua extremidade um bulbo que contém o mercúrio (líquido vermelho). Com a variação da temperatura, o mercúrio expande dentro do tubo, proporcionando uma leitura na faixa de graduada.

O termômetro utilizado media entre as temperaturas de 10 e 60 °C, com divisão de 1°C e erro de  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

**Figura 3.8. Termômetro químico.**

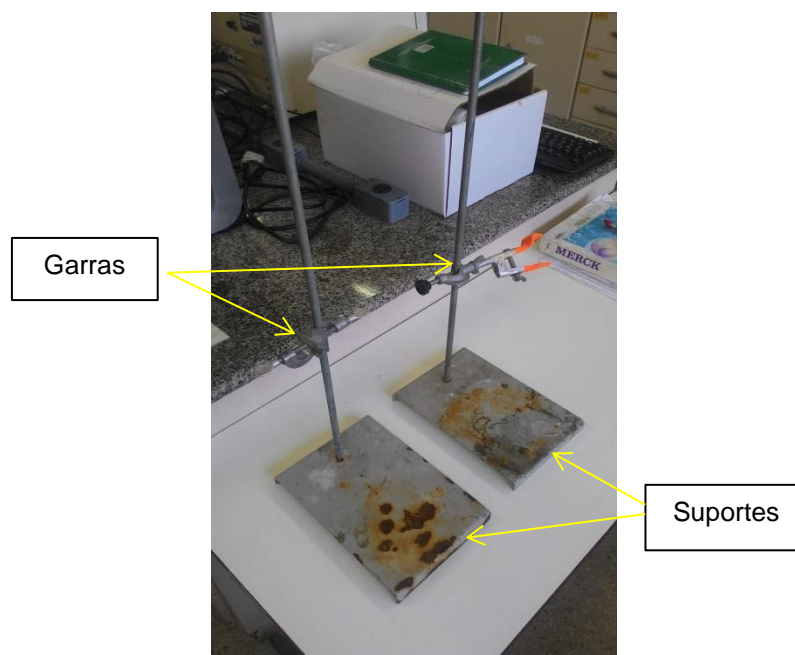


Fonte: Arquivo pessoal.

### 3.2.1.5 Suporte e garras

Para fixação das provetas durante o experimento foram utilizadas garras específicas para sustentação das mesmas no banho termostático. As garras por sua vez eram acopladas, via parafuso, nos suportes metálicos, conforme mostrado na Fig. (3.9).

**Figura 3.9. Suportes e garras.**



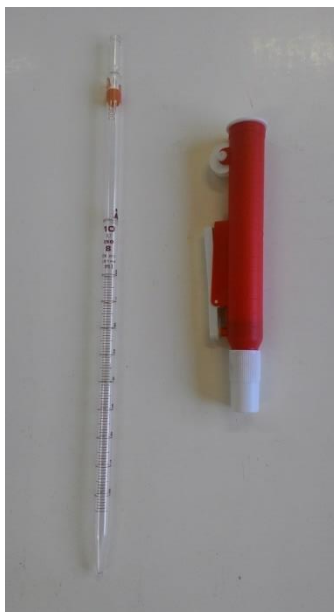
Fonte: Arquivo pessoal.

### 3.2.1.6 Pipeta

Vidraçaria responsável pela transferência precisa de fluidos. A pipeta foi utilizada para retirada do combustível do local onde estava armazenado, de modo preciso e seguro, para as provetas.

A pipeta é da marca Normax, possui uma capacidade máxima de aferição de 10 ml, com sensibilidade de  $\pm 1$  ml. Para evitar qualquer contato com o combustível foi utilizado um acessório chamado pipetador (cor vermelha) que succiona e ejeta o combustível por meio de um mecanismo que promove o aumento ou a redução de pressão.

**Figura 3.10. Pipeta e pipetador.**



Fonte: Arquivo pessoal.

### 3.2.2 Procedimento experimental

Primeiramente o combustível era despejado dentro da proveta por meio da pipeta. Após isso o peso do conjunto proveta mais base da proveta mais combustível eram pesados na balança de precisão. De posse desses valores, a proveta com o combustível era fixada por meios de suportes de modo a permanecer mergulhada (quase que por completa) no banho de água,

promovido pelo banho termostático, fazendo assim tinha-se o combustível na temperatura desejada para ensaio.

Chegada à temperatura do ensaio, o conjunto era novamente pesado, anotava-se o valor e a partir daí iniciava a contagem do tempo, uma vez que a taxa de evaporação foi calculada tendo como referência a temperatura em que se desejava. O período de aquecimento até a chegada da temperatura do experimento e sua respectiva perda volumétrica (mássica) não foram o objeto de estudo deste trabalho. Portanto, quando o combustível atingia a temperatura em que se pretendia realizar a análise, os dados (peso) eram anotados, tendo-os como referência inicial.

Os ensaios duravam quatro horas para cada nível térmico e, de meia em meia hora, a proveta com o combustível era retirada para pesagem. A razão para tanto foi construir um gráfico que detalhasse bem o processo de evaporação. Oito pontos, resultados das pesagens, construíram os gráficos que serão apresentados no capítulo seguinte.

A temperatura era medida de duas maneiras: Uma pelo termostato digital do banho; a outra, pelo termômetro de mercúrio que era inserido não na proveta que estava sendo medida sua taxa de evaporação, mas sim em outra proveta, colocada também no banho só para avaliação e controle da temperatura. Ambas as provetas possuíam a mesma quantidade de combustível e eram colocadas no mesmo tempo.

Dessa forma, com duas provetas no banho termostático em água, uma para controle do nível térmico desejado e outra que era pesada no intervalo de tempo apresentado, é que foi conduzido o experimento.

Foram analisados seis diferentes níveis térmicos, a saber: 30 °C, 35 °C, 40 °C, 45 °C, 50 °C e 55 °C. Essas temperaturas foram escolhidas para que este estudo possa ser aplicado em diversas localidades do Brasil, uma vez que as temperaturas médias variam muito de uma região para outra. Fazendo assim, este estudo pode ser reaplicado para diversas localidades brasileiras.

### 3.2.3 Equações

O valor do peso do conjunto proveta mais combustível, quando estabilizado na temperatura de estudo, foi a referência. Partindo daí, o valor da primeira pesagem era diminuído do valor de referência, obtendo assim  $\epsilon_1$ ;  $\epsilon_2$  era resultado da subtração do valor pesado na meia hora seguinte menos o valor de  $\epsilon_1$  e assim as taxas de evaporação parciais ( $\epsilon_i$ ) foram alcançadas.

Para o cálculo da taxa de evaporação média ( $\epsilon_{média}$ ), em gramas por hora, foi utilizado a Eq. (1):

$$\epsilon_{média} = \frac{\sum_{i=1}^8 \epsilon_i}{4} \quad (1)$$

Na equação (1),  $\epsilon_i$  é dado em gramas. Como foram oito pesagens do decorrer das quatro horas, o quatro aparece no denominador da equação acima, para que a taxa de evaporação seja expressa por unidade de hora.

A porcentagem de volume vaporado ( $\beta$ ) foi obtida com a Eq. (2).

$$\beta = \left( \frac{\alpha_{média}}{p_a - p_b} \right) \times 100\% \quad (2)$$

Onde  $p_a$  é o peso do conjunto proveta mais combustível após o aquecimento necessário para se atingir a temperatura do ensaio e  $p_b$  é o peso da proveta mais seu suporte (sem combustível).

## 3.3 Transferência de calor

Para compreensão da temperatura do combustível no interior do SASC, em específico no tanque que o armazena, faz-se necessário entender como se dá o processo de transferência de calor.

### 3.3.1 *Temperatura do solo*

Antes de descrever a metodologia necessária para a determinação da temperatura nos solos, convêm destacar os fatores que influenciam nesse cálculo, são eles: tipo de solo (emissividade, calor específico e condutividade térmica), revelo, cobertura do terreno, fatores climáticos (temperatura do ar, chuva, nebulosidade, vento, irradiância solar global) e teor de água no solo (KANG et al., 2000a).

Segundo (EMBRAPA, 2006; SILVA; CHAVES; LIMA, 2009;) no estado do Rio Grande do Norte os tipos de solo mais comuns são:

- Luvisolos – Encontrados na região centro-sul do estado;
- Latossolos vermelho-amarelos – Estendem-se por todo o litoral norterio-grandense;
- Neossolos (areias quartzosas) – também presentes no litoral e nas margens dos rios do estado;
- Planossolos – presente em pequenas áreas do RN;
- Argissolo – Encontrados, em sua maioria, na região do alto Oeste
- Cambissolos Eutróficos – Presentes em áreas de relevo plano a fortemente ondulado;
- Solos de mangue – localizam-se nas desembocaduras dos rios;
- Chernossolos – Encontrados na Chapada do Apodi.

Na terra ocorrem dois fenômenos de transferência de calor: a condução e a convecção. A condução domina a litosfera (camada da terra que se estende da superfície até a profundidade de 60 Km) e tem como característica apresentar pouco gradiente geotérmico (LOWRIE, 2007; WILLIAMS, SMITH, 1989). A convecção é o mecanismo de transferência de calor que acontece no interior do planeta.

A transferência de calor no solo se dá pela radiação proveniente do sol (superfície) e, posteriormente, por condução para o interior. Durante o dia o sentido do fluxo de calor é no sentido superfície solo, entretendo à noite, se dá o inverso, com o fluxo térmico indo do interior do solo para a superfície.

A temperatura aumenta com a profundidade e a curva que mostra essa variação é chamada de geoterma. O gradiente geotermal do planeta terra é de, aproximadamente 25 °C/Km, variando de área para área (WINCONDER; MONROE, 2009). Na litosfera essa variação é pouco percebida, sendo aumentada na zona de transição entre o manto superior e manto inferior (a partir de 410 Km da superfície da terra).

Perto da superfície do solo ( a cerca de 5-10 m de profundidade ) , a temperatura é fortemente influenciada pela temperatura atmosférica , e variações de temperatura devido aos efeitos diários ou sazonais pode ser grande. Com o aumento da profundidade, a temperatura torna-se relativamente constante e é inicialmente perto da temperatura média atmosférica para a localização particular a ser considerada. (JOHNSTON; NARSILIO; COLLS, 2011; KANG et al., 2000b).

A distância entre a geratriz superior do tanque subterrâneo e a superfície do solo recomendada é de 1 metro. Caso a superfície seja de concreto armado, essa altura pode ser de 0,5 metros (ABNT NBR 13783, 2014).

Logo é possível calcular a temperatura na parte superior do tanque, estabelecendo uma relação entre a temperatura do ar e a temperatura do solo. Essa relação é dada pela Lei de Fourier:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{\rho c} \frac{\partial^2 y}{\partial z^2} \quad (3)$$

Em que T é a temperatura do solo (K),  $k$  é a condutividade térmica do solo ( $Wm^{-1}K^{-1}$ ),  $\rho$  é a densidade do solo ( $gm^{-3}$ ),  $z$  a profundidade do solo e  $t$  o tempo. O valor da  $\rho c$  indica inércia térmica ( $JK^{-1}$ ).

A Equação (3) pode ser resolvida numericamente (BECKER et al., 1981). As condições iniciais e de contorno, temperatura e fluxo de calor na superfície do solo num dado momento pode ser calculada a partir de ondas curtas incidente e radiação térmica de onda longa (THUNHOLM, 1990).

Assumindo que as variações de temperatura diurna e anuais na superfície do solo seguem uma curva senoidal, podemos empregar uma fórmula conhecida de função de onda, Eq. (4).

$$\mathbf{T} = \mathbf{T}_{avg} + \mathbf{A}_0 \omega t \quad (4)$$

Onde  $T_{avg}$  é a temperatura média do solo, e  $A_0$  a amplitude da onda à temperatura à superfície do solo ( $z = 0$ ). Quando  $T$  aproxima  $T_{avg}$  com a profundidade do solo, e a difusividade térmica  $\alpha = \lambda / (\rho c)$  ( $m^2 s^{-1}$ ) é constante ao longo do tempo, a solução para Eq. (3) é dada pela Eq. (5) como se segue (ROSENBERG et al., 1983 ).

$$T(z, t) = T_a + A_0 \exp \left[ -z \left( \frac{\omega}{2\alpha} \right)^{1/2} \right] \sin \left[ \omega t - z \left( \frac{\omega}{2\alpha} \right)^{1/2} \right] \quad (5)$$

A Equação (6) apresenta uma relação de amortecimento da faixa de temperatura a uma dada profundidade do solo pode ser definida por:

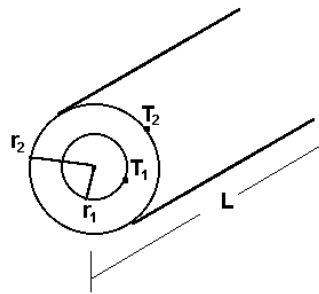
$$DR_z = \frac{A_z}{A_0} = \exp \left[ -z \left( \frac{\omega}{\alpha P} \right)^{1/2} \right] \quad (6)$$

Onde  $DR_z$  é a relação de amortecimento a uma profundidade do solo de  $z$  (cm),  $\alpha$  a difusividade térmica ( $cm^2 s^{-1}$ ),  $P$  o período de qualquer variação de temperatura diurna ou anual (segundos),  $A_z$  e  $A_0$  representam a amplitude da onda no solo temperatura profundidade  $z$  e  $0$ , respectivamente.

### 3.3.2 Transferência de calor através do tanque

Conforme descrito na seção xx o tanque subterrâneo, que armazena o combustível, possui uma configuração cilíndrica submetido a uma diferença de temperatura entre a superfície externa (fibra de vidro em contato com o subsolo) e a parte interna (aço em contato com o combustível).

**Figura 3.11. Cilindro com parede única.**



Fonte: Univasf, 2006.

A Lei de Fourier, Eq. (7), estabelece o fluxo de calor que atravessa uma parede cilíndrica é dada por:

$$\dot{q} = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dr} \quad (7)$$

Onde A representa a área do cilindro e  $\frac{dT}{dr}$  o gradiente de temperatura na direção radial.

A área do cilindro de comprimento (L) é dada pela Eq. (8):

$$A = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot L \quad (8)$$

Substituindo (8) em (7) e realizando as integrações chega-se a Eq. (9):

$$\int_{r_1}^{r_2} \dot{q} \cdot \frac{dr}{r} = - \int_{T_1}^{T_2} k \cdot 2 \cdot \pi \cdot L \cdot dT$$

$$\dot{q} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = -k \cdot 2 \cdot \pi \cdot L \cdot \int_{T_1}^{T_2} dT$$

$$\dot{q} \cdot \left( \ln r \Big|_{r_1}^{r_2} \right) = -k \cdot 2 \cdot \pi \cdot L \cdot \left( T \Big|_{T_1}^{T_2} \right)$$

$$\dot{q} \cdot [\ln r_2 - \ln r_1] = -k \cdot 2 \cdot \pi \cdot L \cdot (T_2 - T_1)$$

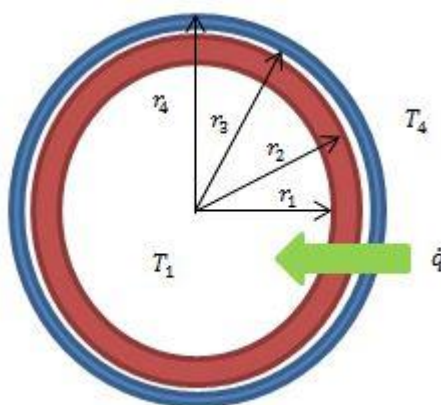
Utilizando-se das propriedades logarítmicas,

$$\dot{q} = \frac{k \cdot 2 \cdot \pi \cdot L}{\ln \frac{r_2}{r_1}} (T_2 - T_1) = \frac{\Delta T}{R} \quad (9)$$

$$\text{Sendo } R = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{k \cdot 2 \cdot \pi \cdot L}.$$

No caso do tanque de combustível, tem-se uma associação de cilindros paralelos. O tanque externo está submetido à temperatura do subsolo ( $T_4$ ) e o combustível a  $T_1$ .

**Figura 3.12. Fluxo de calor no tanque durante o dia.**



Fonte: Arquivo pessoal.

O tanque interno é de aço (condutividade térmica  $k_1$ , espessura  $r_2 - r_1$ ), o interstício é de ar (condutividade térmica  $k_2$ , espessura  $r_3 - r_2$ ) e tanque externo é de fibra de vidro (condutividade térmica  $k_3$ , espessura  $r_4 - r_3$ ). Logo o fluxo de calor (durante o dia) é dado pela Eq. (10):

$$\dot{q} = \frac{T_4 - T_1}{\frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{k_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot L} + \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{k_2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot L} + \frac{\ln \frac{r_4}{r_3}}{k_3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot L}} \quad (10)$$

O estudo da transferência de calor entre a superfície e o combustível localizado no tanque subterrâneo não é objeto de estudo deste trabalho, no entanto foi apresentada uma alternativa que possibilite investigações futuras sobre esse fenômeno.

---

## **CAPÍTULO 4**

### **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

---

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os dados obtidos nas análises experimentais dos quatro combustíveis estudados, a saber: gasolina comum, álcool combustível, diesel S10 e gasolina Grid, todos da PETROBRAS® Distribuidora.

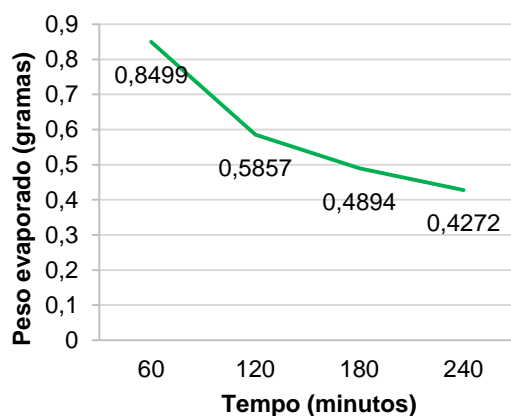
Os dados serão apresentados na forma de gráficos. São quatro tipos para cada combustível: Peso evaporado por hora, peso total evaporado, taxa de evaporação média e percentual de volume evaporado.

### 4.1 Gasolina comum

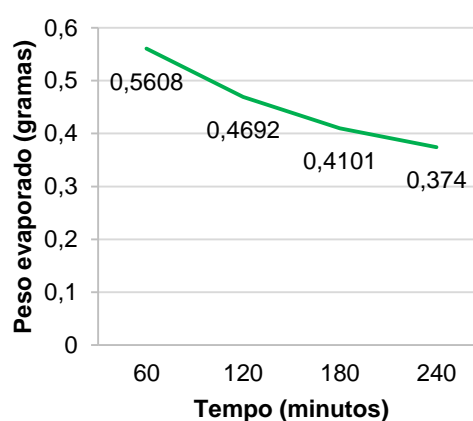
São apresentados a seguir os resultados das análises experimentais para a gasolina comum Petrobras. Cada ensaio teve a duração de quatro horas.

Os gráficos que seguem mostram o peso evaporado por hora, para as faixas de temperaturas, a saber: 55 °C, 50 °C, 45 °C, 40 °C, 35 °C e 30 °C.

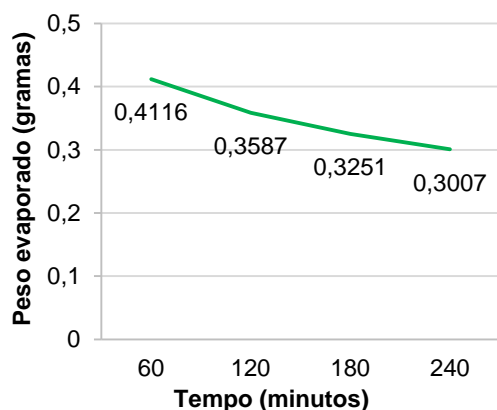
**Figura 4.1. Peso evaporado por hora. Gasolina comum a T = 55 °C.**



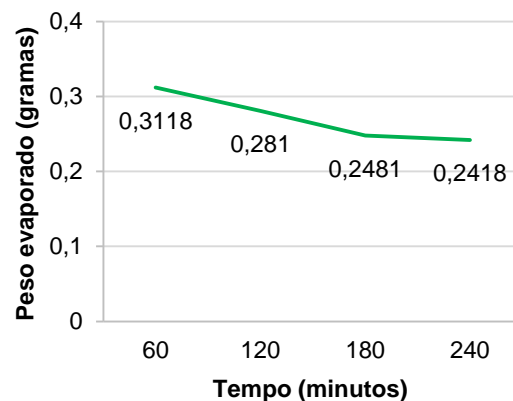
**Figura 4.2. Peso evaporado por hora. Gasolina comum a T = 50 °C.**



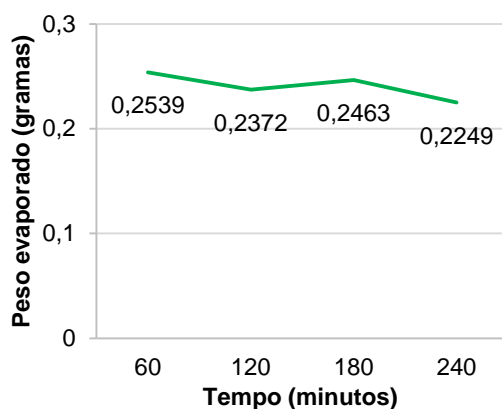
**Figura 4.3. Peso evaporado por hora. Gasolina comum a T = 45 °C.**



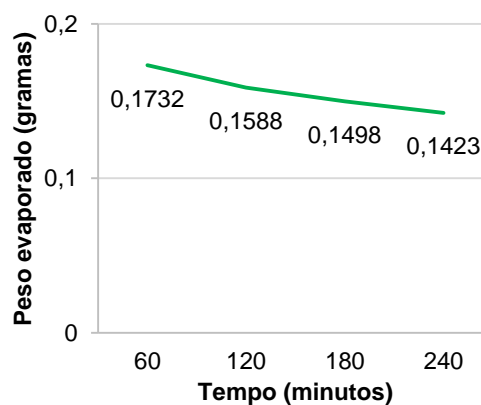
**Figura 4.4. Peso evaporado por hora. Gasolina comum a T = 40 °C.**



**Figura 4.5. Peso evaporado por hora. Gasolina comum a T = 35 °C.**



**Figura 4.6. Peso evaporado por hora. Gasolina comum a T = 30 °C.**



Percebe-se dos gráficos presentes entre as figuras 4.1 a 4.6 que, para todas as faixas de temperaturas, o peso evaporado (em gramas) da gasolina comum decai (decrece) com o passar do tempo, ou seja, nos momentos iniciais mais quantidade de gasolina comum evapora, diminuindo esse valor à medida que o tempo passa.

Isso é devido à evaporação dos hidrocarbonetos mais leves (Okamoto et al., 2009). Resultados similares também foram obtidos por (LING et al., 2012).

Os gráficos a seguir mostram o peso total evaporado no decorrer do tempo, para as seis faixas de temperaturas avaliadas.

Figura 4.7. Peso total evaporado. Gasolina comum a T = 55 °C.

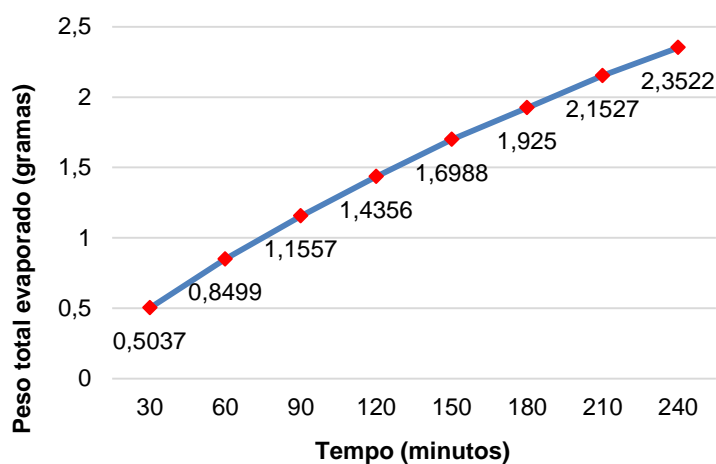


Figura 4.8. Peso total evaporado. Gasolina comum a T = 50 °C.

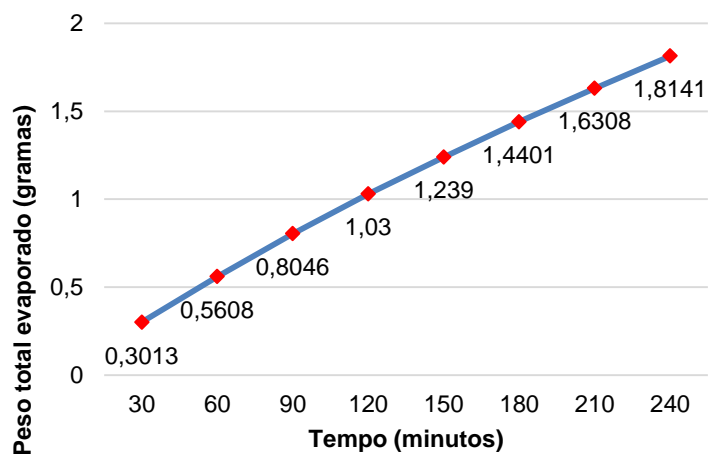


Figura 4.9. Peso total evaporado. Gasolina comum a T = 45 °C.

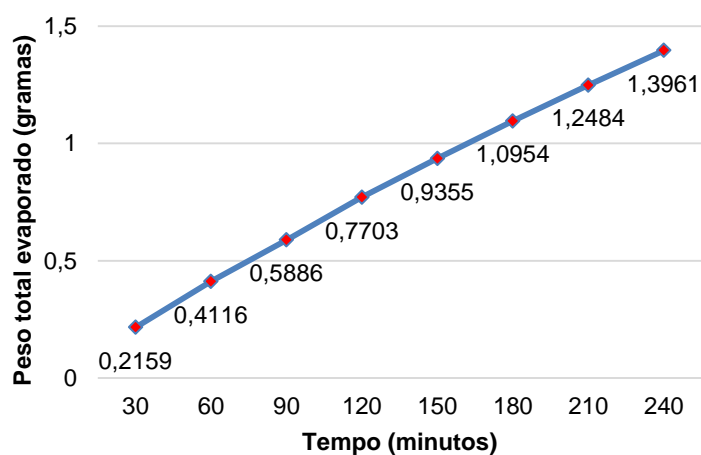


Figura 4.10. Peso total evaporado. Gasolina comum a  $T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

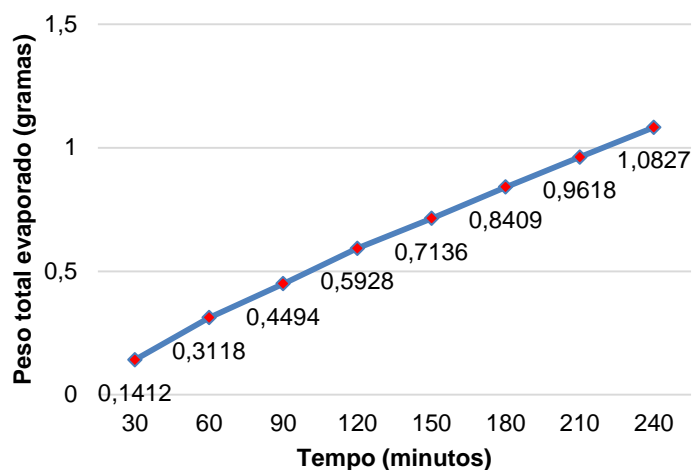


Figura 4.11. Peso total evaporado. Gasolina comum a  $T = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

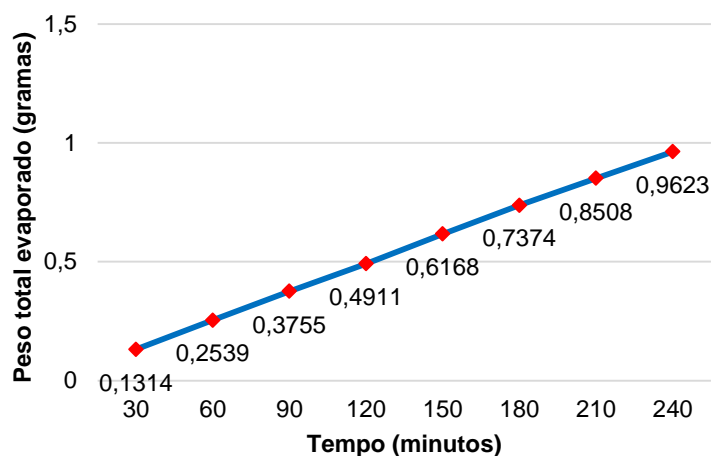
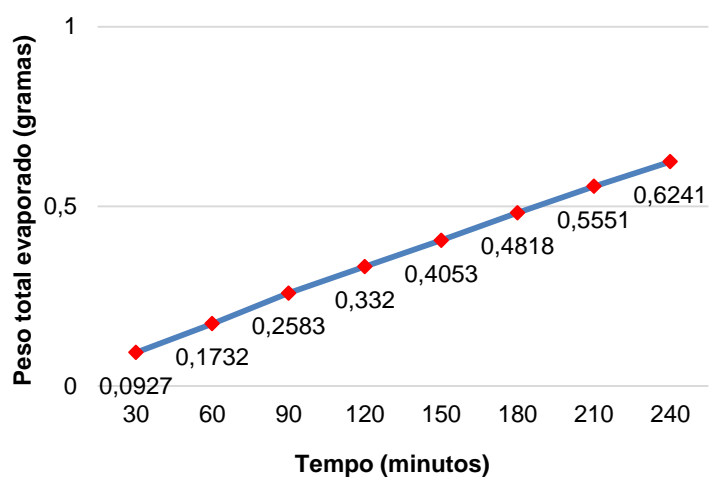


Figura 4.12. Peso total evaporado. Gasolina comum a  $T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

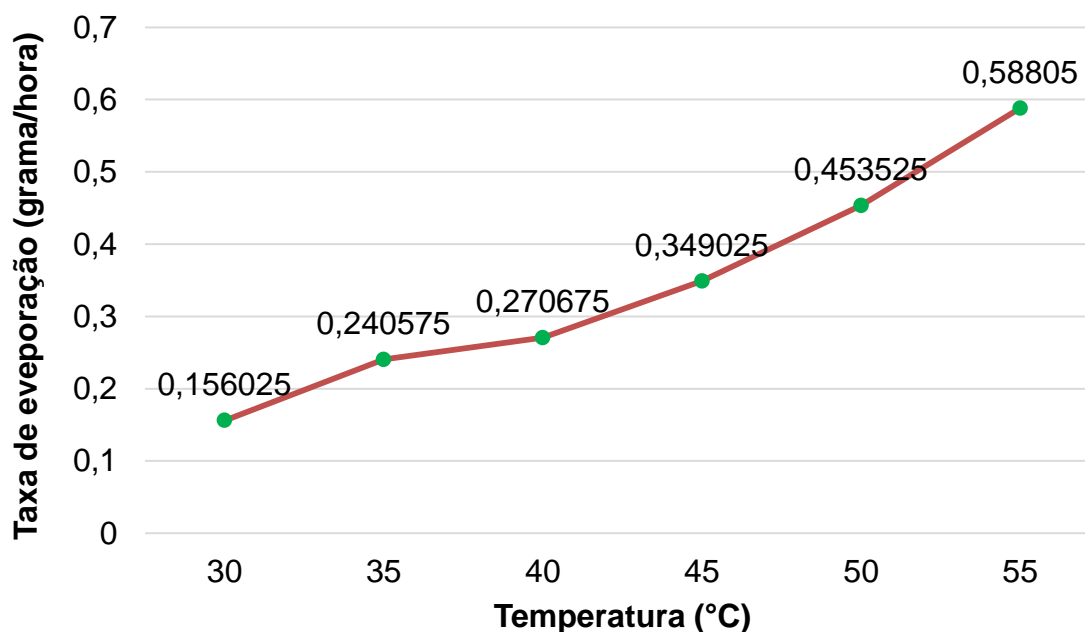


Com os resultados expostos observa-se que, para a gasolina comum, quanto maior a temperatura e o tempo, maior será o peso total evaporado. Conforme já discutido, a proporção desse peso decresce, por hora, com o decorrer do tempo.

Durante os ensaios realizados, para todas as temperaturas, ocorreu uma dilatação volumétrica da gasolina comum, proporcionando um ligeiro aumento no volume (análise visual) e diminuição do peso (conferido pela balança). Após a finalização do ensaio observou-se com o abaixamento da temperatura a condição ambiente, em torno de 26 °C, que o peso total evaporado condizia com o volume apresentado no menisco da proveta, ou seja, apesar de não aparentar visualmente evaporação, a mesma estava ocorrendo durante o ensaio.

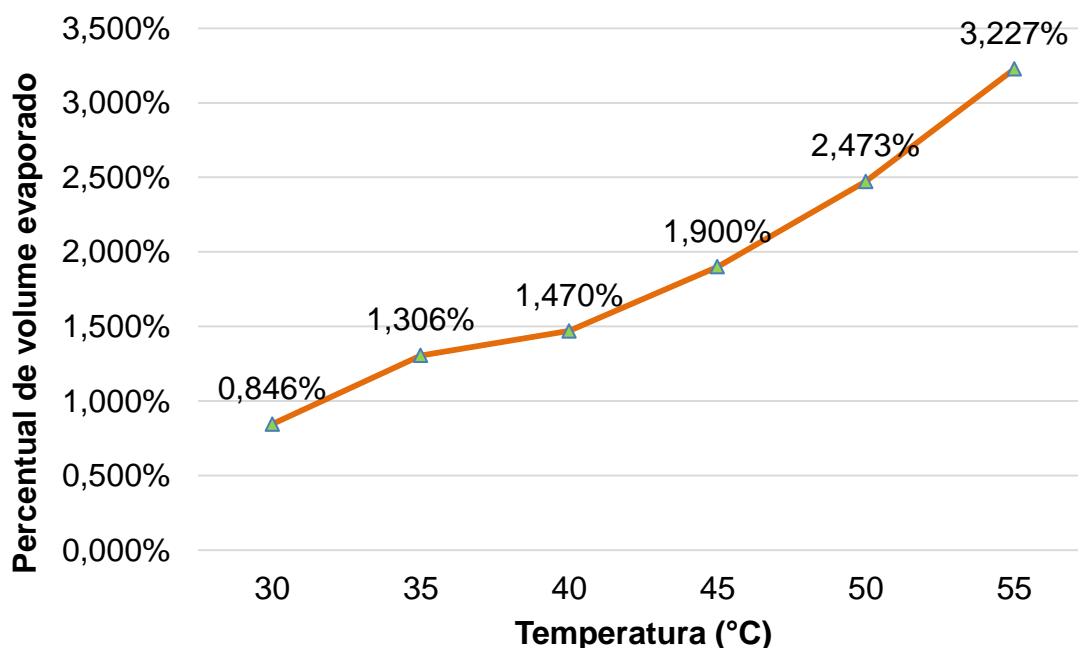
De posse dos dados mostrados anteriormente e com o uso da Eq. (1), consegue-se obter a taxa média de evaporação da gasolina comum Petrobras em função da temperatura.

**Figura 4.13. Taxa de evaporação média (grama/hora). Gasolina Comum.**



Importante ressaltar, do gráfico da Fig. 4.13, que a taxa de evaporação (grama/hora) diminui com o passar do tempo.

**Figura 4.14. Percentual (médico) por hora de volume evaporado em função da temperatura. Gasolina Comum.**



A Figura 4.14 apresenta que o percentual de volume evaporado é maior com o aumento da temperatura. Esses resultados foram obtidos a partir da Eq. (2).

Merece destaque que, pra todas as temperaturas, em um posto de combustível onde não existe controle das emissões, o mesmo seria autuado pela ABNT NBR 13787 (2013), uma vez que as perdas ultrapassariam o valor permitido de perdas diárias, 0,6 % do volume.

Portanto, partir da temperatura de 30 °C é imprescindível, para a gasolina comum, o controle das emissões fugitivas, em específico as perdas evaporativas.

Essa temperatura é muito comum na maioria das regiões do país o ano todo, o que vem retratar a urgência do uso de medidas mitigadoras quando da utilização da gasolina comum em posto revendedores de combustível.

Além da contaminação ambiental causado pela condensação dos vapores liberados pelo combustível, o posto revendedor estará infringindo a legislação nacional, o que promoverá possíveis passivos ambientais ao empreendimento.

#### 4.1.1 *Análise de custos – Gasolina Comum*

Considerando como volume de controle o tanque de combustível, é possível realizar uma análise de custos, tendo como parâmetro de avaliação o volume evaporado (médio) por hora.

Para um posto que não possua equipamentos e dispositivos que impeçam ou atenuem as emissões por evaporação, pode ocorrer, por exemplo, em um tanque de 5.000 litros, para a temperatura de 35 °C, uma perda (potencial) de aproximadamente 65 litros de gasolina comum por hora, isso considerando apenas as emissões fugitivas.

Em valores monetários, tomando a referência o valor médio estimado pelo Sistema de Levantamento de Preços (SLP) da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP, o litro da gasolina comum no Brasil custa R\$ 3,654 (agosto de 2016). Logo a perda diária (potencial) por hora, é de R\$ 237,51. Esses valores serão maiores quanto maior for o tempo de evaporação e quanto maior a quantidade de combustível no tanque.

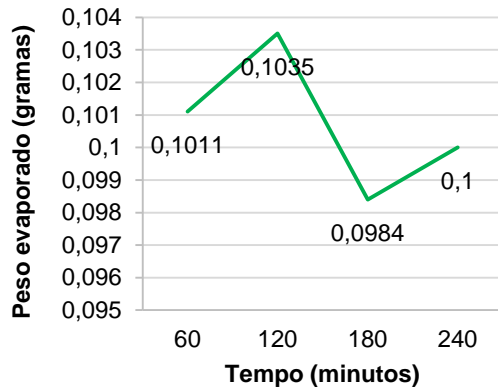
Além do prejuízo financeiro, esses vapores não contidos contaminam o meio ambiente, poluindo fauna e flora, ocasionada sérios danos à natureza e a população em geral (PEREIRA; GOMES; OLIVEIRA, 2008)

Segundo a NBR 13787, o posto quando perde tais valores mensais está enquadrado na condição de não estanque, isto é, com vazamentos, podendo ter sua licença de operação suspensa ou cancelada e também sofrer a abertura de passivo ambiental.

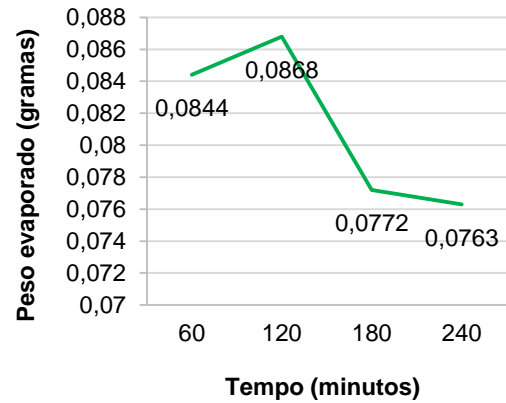
## **4.2 Álcool combustível**

Os gráficos que seguem mostram o peso evaporado por hora, para o álcool hidratado combustível, para as faixas de temperaturas medidas.

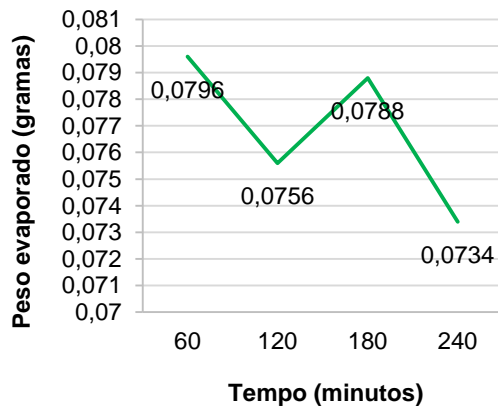
**Figura 4.15. Peso evaporado por hora. EHC a T = 55 °C.**



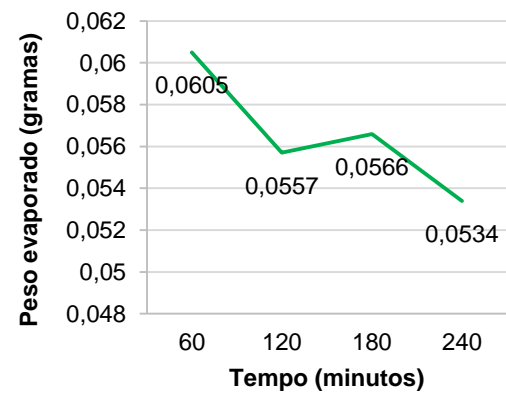
**Figura 4.16. Peso evaporado por hora. EHC a T = 50 °C.**



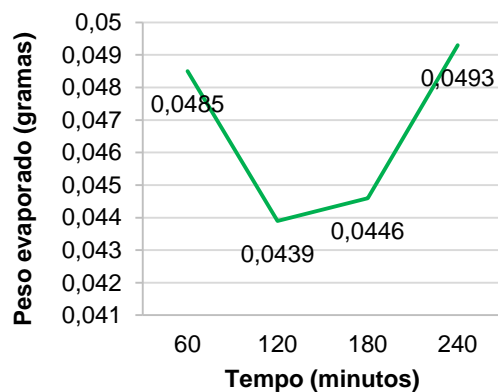
**Figura 4.17. Peso evaporado por hora. EHC a T = 45 °C.**



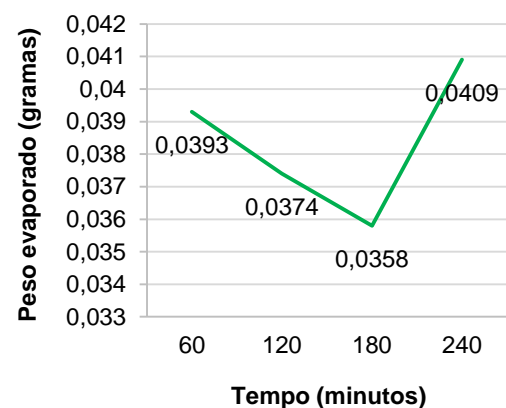
**Figura 4.18. Peso evaporado por hora. EHC a T = 40 °C.**



**Figura 4.19. Peso evaporado por hora. EHC a T = 35 °C.**



**Figura 4.20. Peso evaporado por hora. EHC a T = 30 °C.**

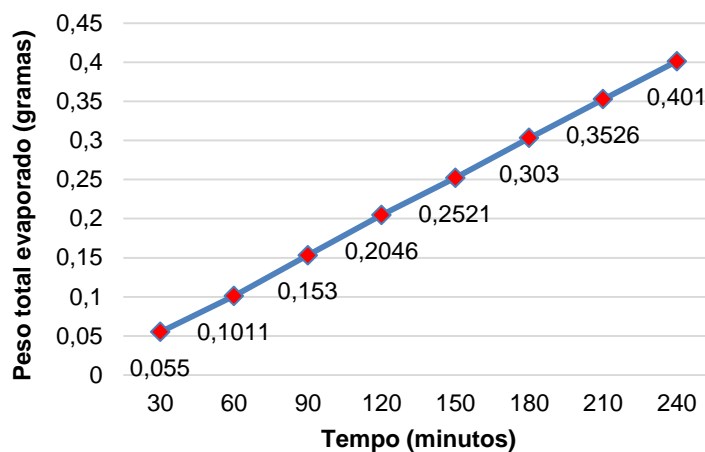


O peso evaporado por hora do álcool varia com o decorrer do tempo, ora está maior, ora menor. A razão disso reside no fato do álcool conter água em

sua composição, ser mais impuro que os outros combustíveis e pela tendência química de absorver água.

Os gráficos das figuras a seguir mostram o peso total evaporado do álcool hidratado combustível no decorrer do tempo, para as seis faixas de temperaturas aferidas.

**Figura 4.21. Peso total evaporado. Álcool combustível a T = 55 °C.**



**Figura 4.22. Peso total evaporado. Álcool combustível a T = 50 °C.**

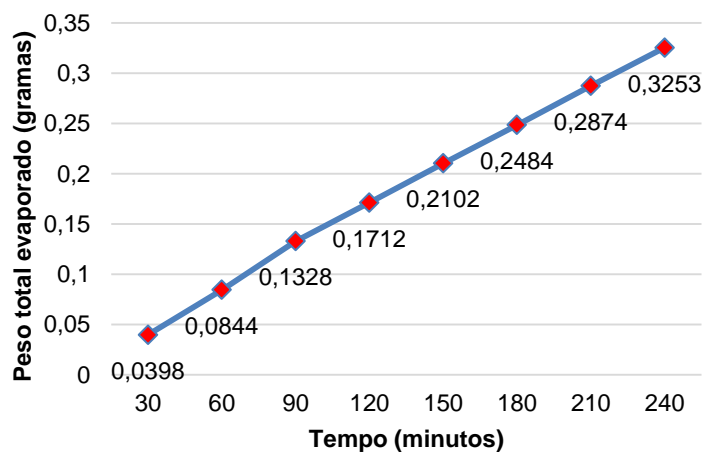


Figura 4.23. Peso total evaporado. Álcool combustível a T = 45 °C.

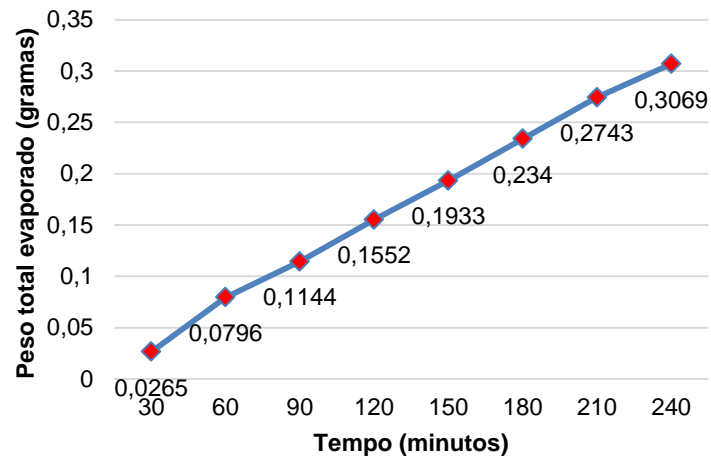


Figura 4.24. Peso total evaporado. Álcool combustível a T = 40 °C.

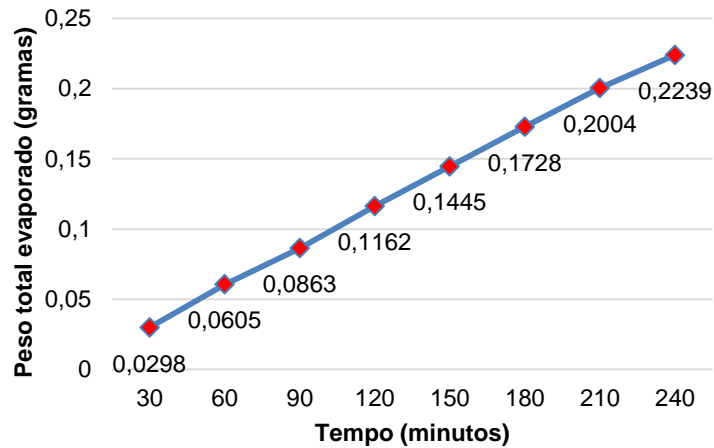
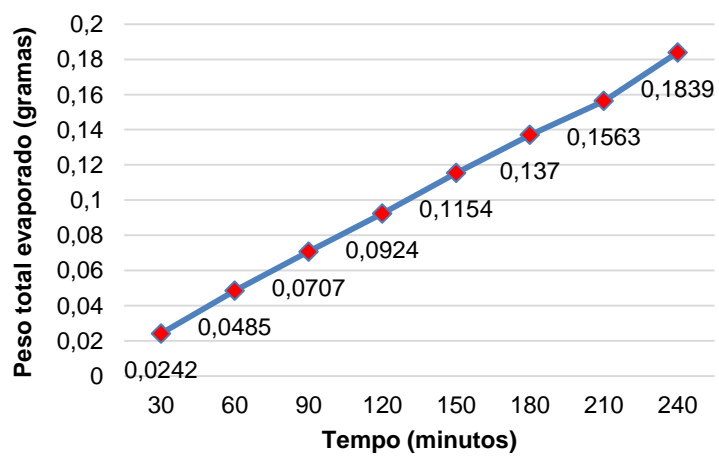
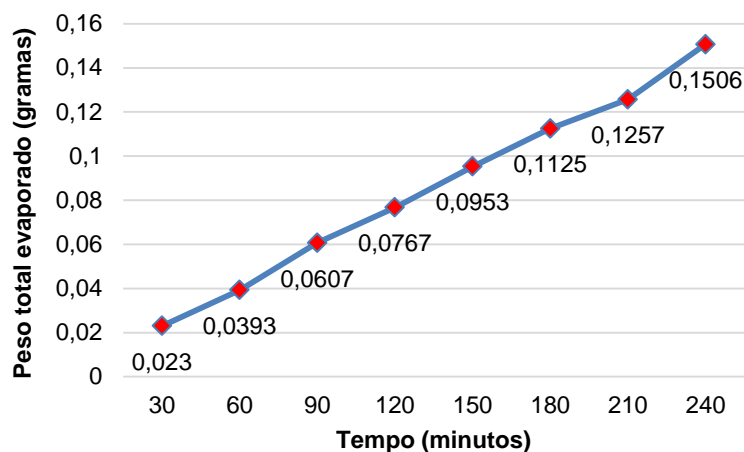


Figura 4.25. Peso total evaporado. Álcool combustível a T = 35 °C.



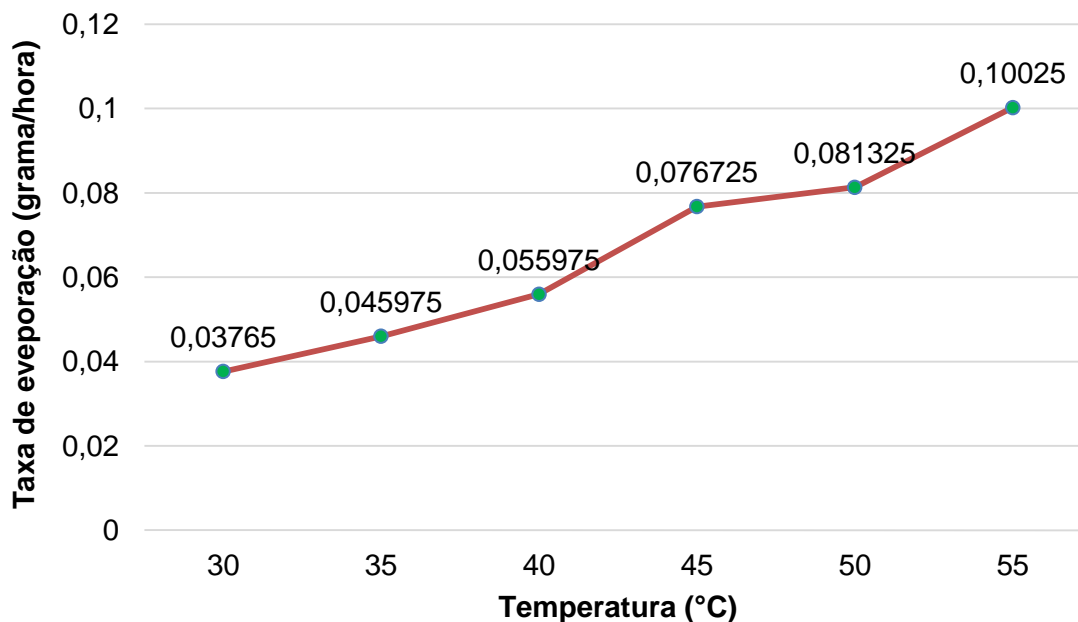
**Figura 4.26. Peso total evaporado. Álcool combustível a T = 30 °C.**



O peso total evaporado do etanol combustível é diretamente proporcional à temperatura e ao tempo, fato esse facilmente observável nos gráficos das figuras 4.21 a 4.26.

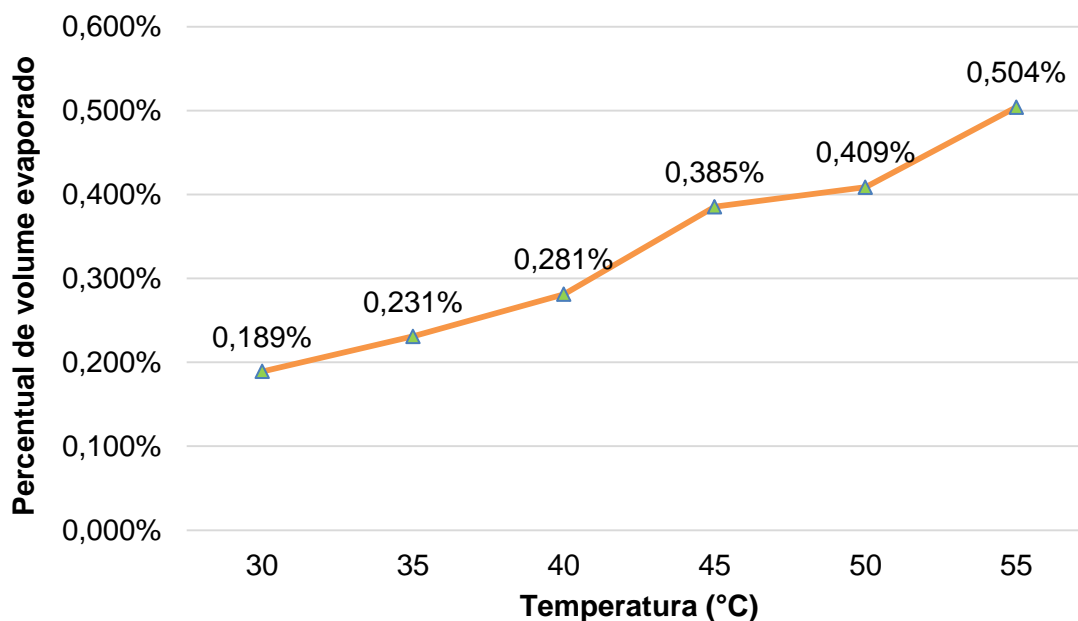
Com os dados apresentados e o uso da Eq. (1), consegue-se obter a taxa média de evaporação do álcool hidratado combustível Petrobras em função da temperatura.

**Figura 4.27. Taxa de evaporação média (grama/hora). Álcool combustível.**



É observável da Fig. (4.27) que a taxa de evaporação média (grama/hora) aumenta com o aumento da temperatura.

**Figura 4.28. Percentual (médio) por hora de volume evaporado em função da temperatura. Álcool combustível.**



A figura 4.28 apresenta que o percentual de volume evaporado é maior com o aumento da temperatura. Quanto maior a temperatura a que está exposto o combustível, maior será o volume evaporado, tendo como referência o volume inicial.

A legislação brasileira, especificamente na ABNT NBR 13787 - Controle de estoque de sistemas de armazenamento subterrâneo de combustíveis (SASC) – estabelece que as perdas diárias não podem exceder 0,6 % do volume.

Importante destacar que, para todas as temperaturas estudadas do EHC, as perdas por evaporação, em um posto que não possua dispositivos que atenuem ou evitem as emissões fugitivas, estão dentro do estabelecido pela norma nacional.

Entretanto convém ressaltar que, mesmo com os valores das perdas estando dentro do permissível, o combustível evaporado contamina o meio ambiente e o posto pode ser autuado por questões de contaminação, o que gera multas graves, podendo levar ao fechamento do posto revendedor.

#### *4.2.1 Análise de custos – Álcool combustível*

É conveniente realizar uma análise de custos das perdas por evaporação. Essa avaliação foi aplicada em um tanque de combustível - volume de controle -subterrâneo, com capacidade de 5.000 litros, local onde é armazenado o etanol combustível.

Além das já citadas, outras variáveis foram selecionadas para aplicação da análise termoeconômica, são elas: temperatura de 35 °C e valor de R\$ 2,483 (agosto de 2016) para levantamento aponta valor do combustível e o preço de revenda médio nacional do etanol, referenciado Sistema de levantamento de Preços – SLP pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP.

As perdas potenciais por evaporação, para postos de combustíveis que não possuem equipamentos e dispositivos de proteção contra evaporação, para o caso em destaque é de aproximadamente 11,5 litros de etanol combustível por hora. Em valores monetários, R\$28,55 por hora.

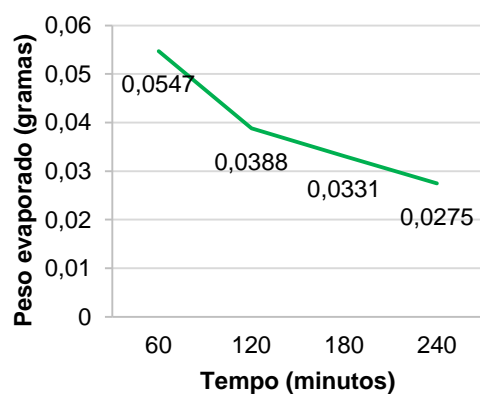
O valor máximo obtido como percentual médio evaporado foi de 0,504 % do volume inicial, o que, de acordo com a NBR 13787, o sistema de abastecimento subterrâneo de combustível - SASC - subterrâneo de está enquadado com estanque, ou seja, não apresenta vazamentos em suas instalações.

Apesar de parecer confortável essa informação, o fato é que o posto está perdendo ativo, o etanol combustível, some-se a isto o fato de estar contribuindo para degradação da saúde do planeta.

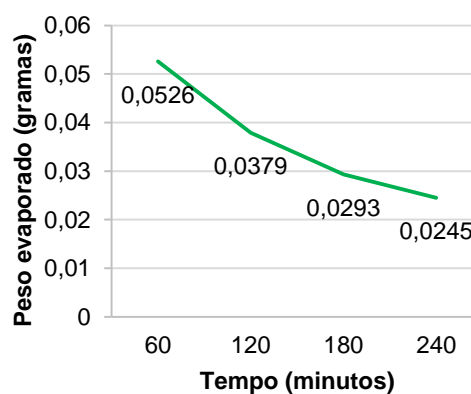
### 4.3 Diesel S10

As figuras a seguir apresentam o peso evaporado por hora, para diesel S10, para os seis níveis térmicos analisados.

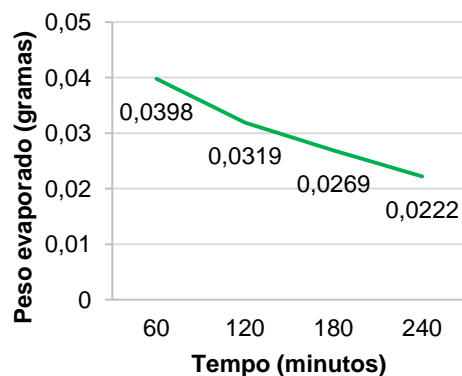
**Figura 4.29. Peso evaporado por hora. Diesel S10 a T = 55 °C.**



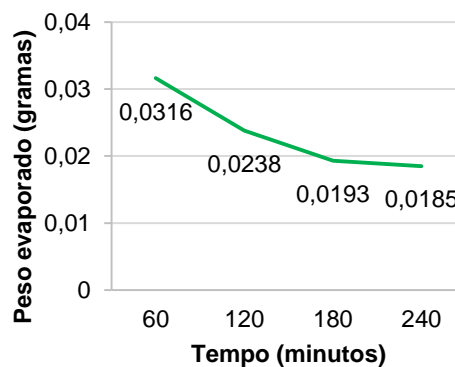
**Figura 4.30. Peso evaporado por hora. Diesel S10 a T = 50 °C.**



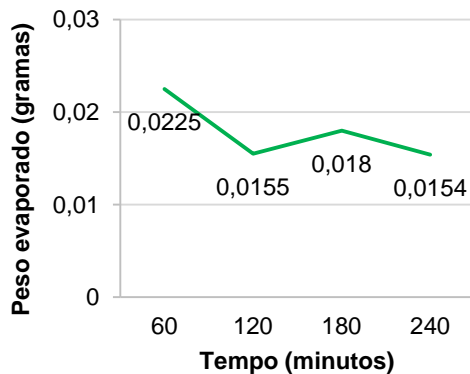
**Figura 4.31. Peso evaporado por hora. Diesel S10 a T = 45 °C.**



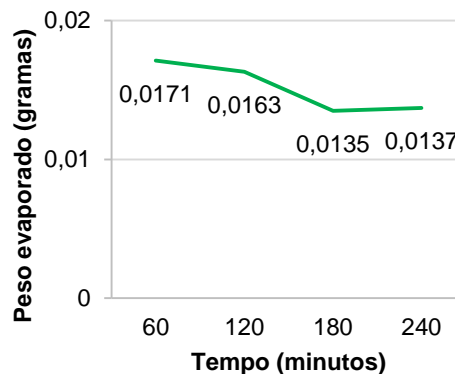
**Figura 4.32. Peso evaporado por hora. Diesel S10 a T = 40 °C.**



**Figura 4.33. Peso evaporado por hora. Diesel S10 a T = 35 °C.**



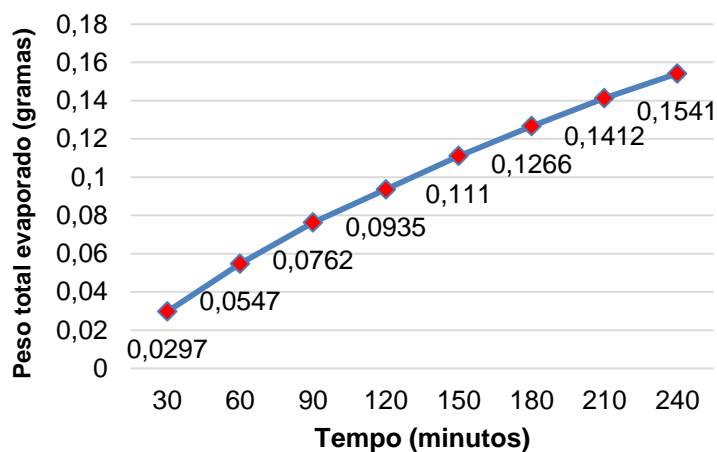
**Figura 4.34. Peso evaporado por hora. Diesel S10 a T = 30 °C.**



Extrai-se dos gráficos presentes entre as figuras 4.29 a 4.34 que, para todas as faixas de temperaturas, o peso evaporado (em gramas) do diesel S10 decresce com o passar do tempo.

Os gráficos das figuras a seguir mostram o peso total evaporado do diesel S10 no decorrer do tempo, para as seis faixas de temperaturas analisadas.

**Figura 4.35. Peso total evaporado. Diesel S10 a T = 55 °C.**



**Figura 4.36. Peso total evaporado. Diesel S10 a T = 50 °C.**

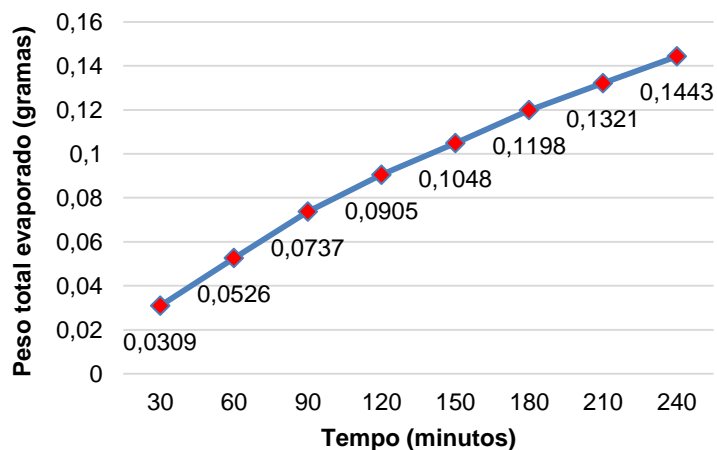


Figura 4.37. Peso total evaporado. Diesel S10 a T = 45 °C.

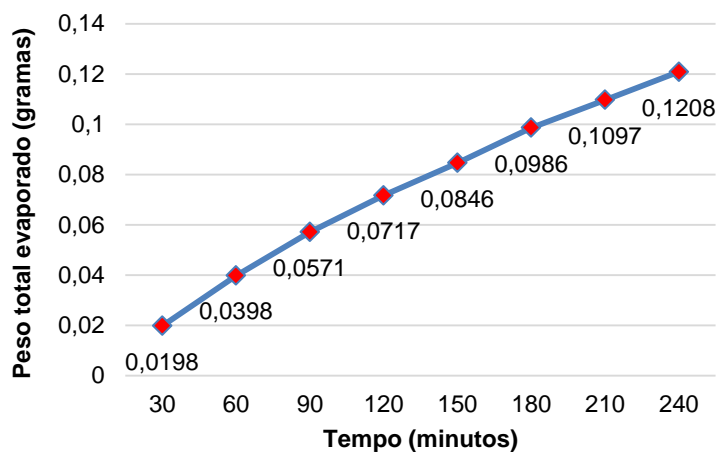


Figura 4.38. Peso total evaporado. Diesel S10 a T = 40 °C.

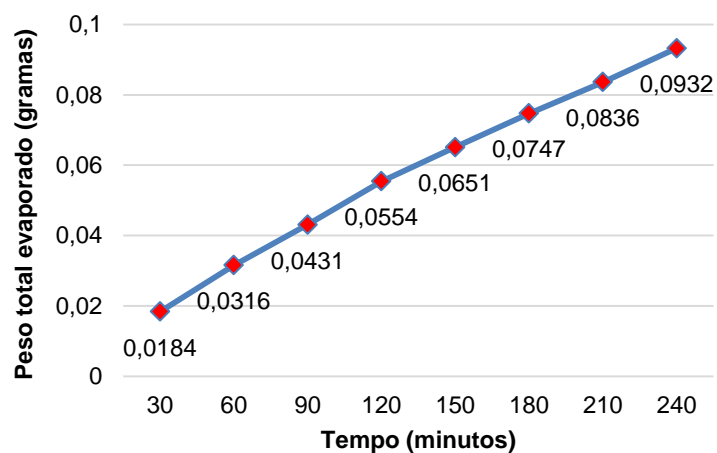
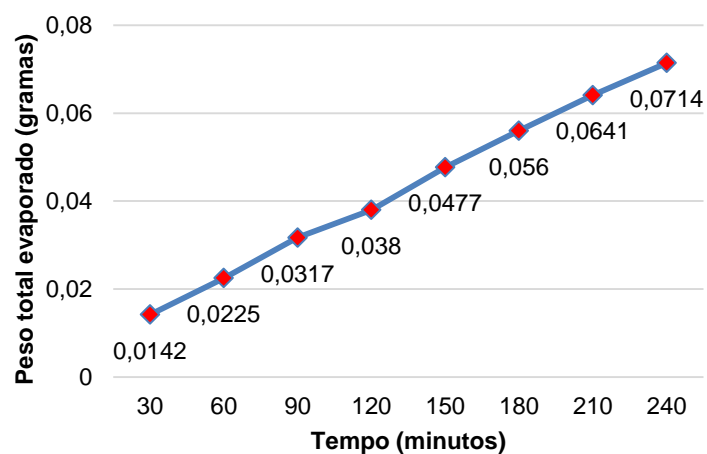
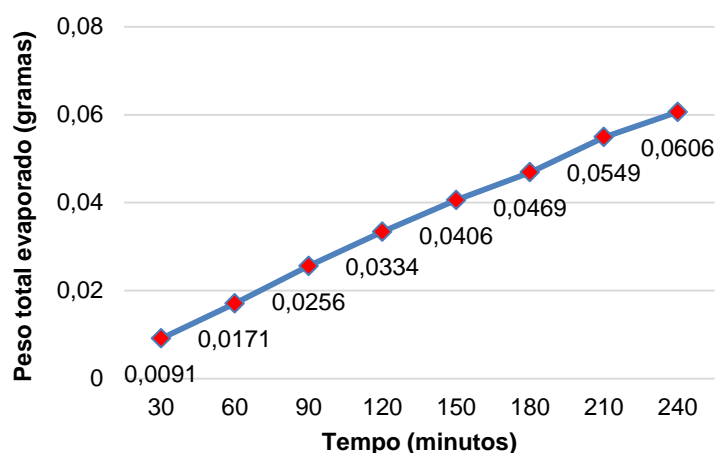


Figura 4.39. Peso total evaporado. Diesel S10 a T = 35 °C.



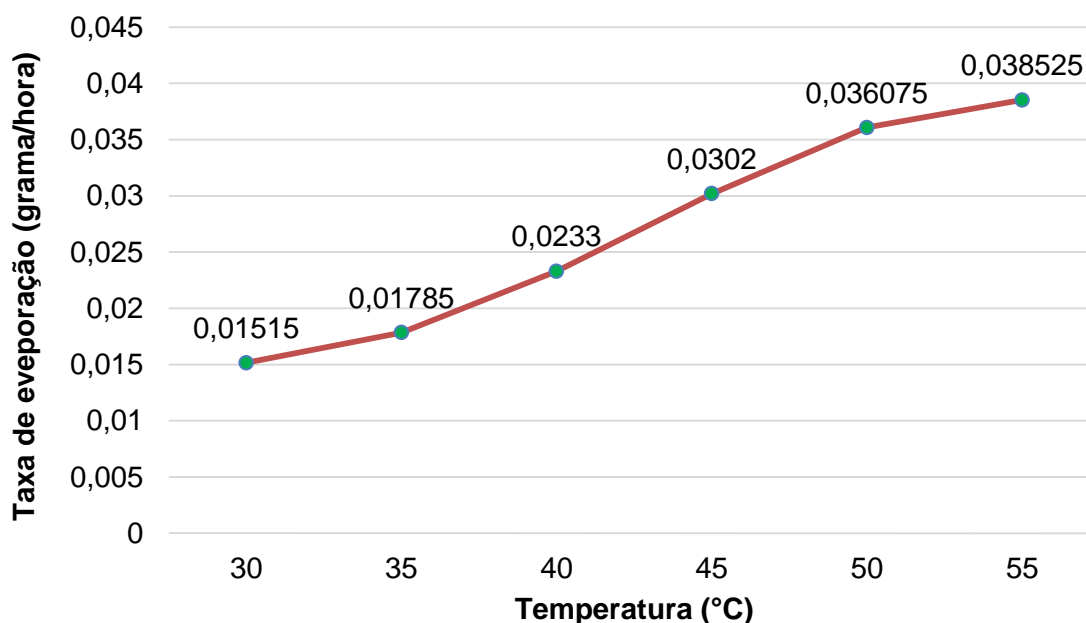
**Figura 4.40. Peso total evaporado. Diesel S10 a T = 30 °C.**



O peso total evaporado do diesel S10 é diretamente proporcional a temperatura, em todos os níveis térmicos estudados, fato esse facilmente observável nos gráficos acima (figuras 4.35 a 4.40).

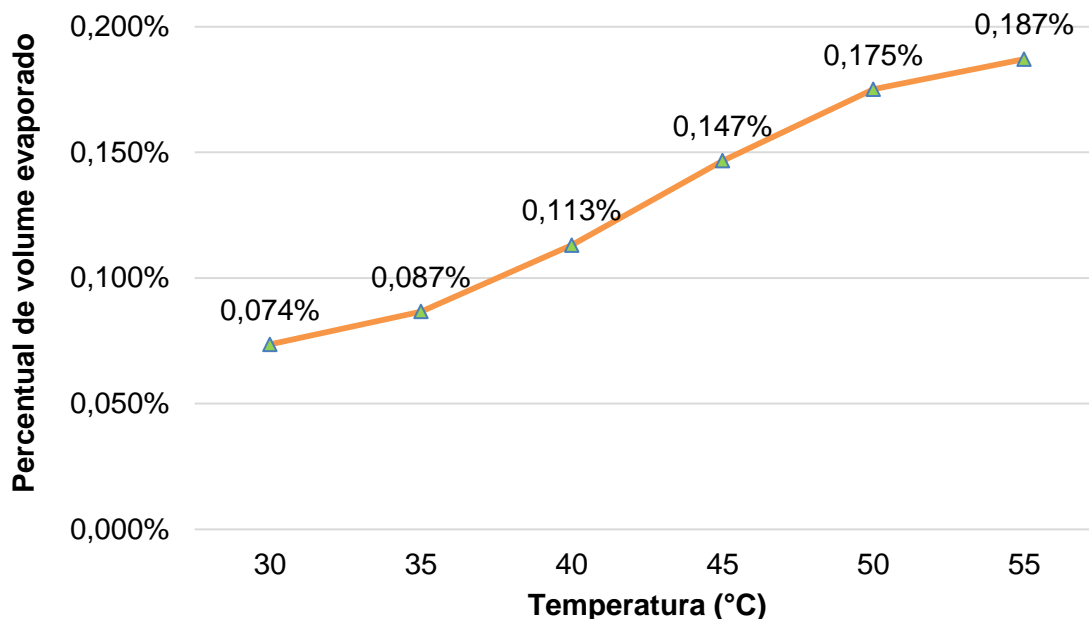
De posse dos valores já apresentados e com a utilização da Eq. (1), obtém-se a taxa média de evaporação do diesel S10 Petrobras em função da temperatura.

**Figura 4.41. Taxa de evaporação média (grama/hora). Diesel S10.**



Observando a Fig. (4.41) deduz-se que a taxa de evaporação (grama/hora) do diesel S10 cresce com o aumento da temperatura.

**Figura 4.42. Percentual (médio) por hora de volume evaporado em função da temperatura. Diesel S10.**



A figura 4.42 apresenta que o percentual de volume evaporado é maior com o aumento da temperatura. Quanto maior a temperatura a que está exposto o diesel S10, maior será o volume evaporado, tendo como referência o volume inicial.

Em todas as temperaturas analisadas o percentual evaporado do diesel S10 está abaixo do recomendado pela legislação nacional, que é de 0,6 % do volume, conforme orienta a ABNT NBR 13787 (2013), portanto, as instalações são consideradas estanques.

Apesar do atendimento a norma, a questão não está pacificada, pois envolve a liberação desse vapor ao meio ambiente, caso o posto de serviço não apresente dispositivos que controlem ou atenuem essas emissões., o que pode gerar a emissão de passivos ambientais.

Com a condensação desse combustível a fauna, flora, rios, lençóis freáticos etc. estarão sendo contaminados, junte-se a isto a perda de ativo, o próprio diesel S10.

#### *4.3.1 Análise de custos – Diesel S10*

Por ocorrer, potencialmente, uma perda financeira, foi realizado uma análise de custos das perdas por evaporação. Essa avaliação foi aplicada em um tanque de combustível subterrâneo - volume de controle -, com capacidade de 5.000 litros, pleno, local onde é armazenado o diesel S10.

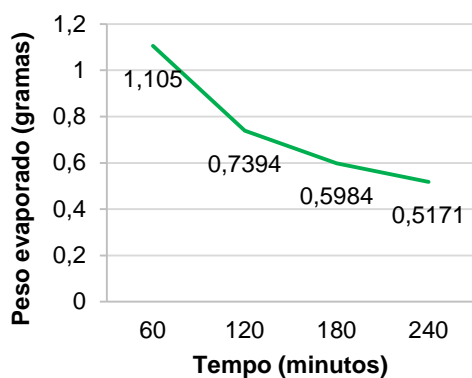
Além das já citadas, outras variáveis foram selecionadas para aplicação da análise de custos, são elas: temperatura de 35 °C e valor de revenda do combustível, dado pelo Sistema de Levantamento de Preços – SLP pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP.

Considerando para o diesel S10 um valor médio nacional de revenda de R\$ 3,151 as perdas potenciais evaporativas para o diesel S10 são, aproximadamente 4 litros de combustível por hora; em valores pecuniários, R\$ 12,64 por hora.

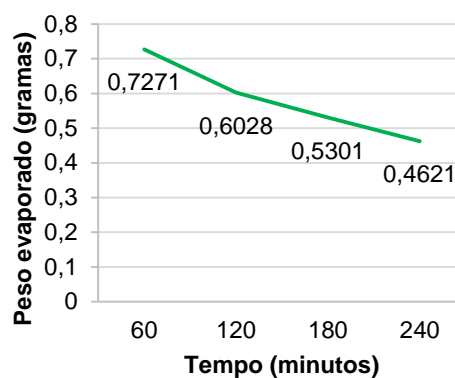
#### 4.4 Gasolina GRID

As figuras a seguir apresentam o peso evaporado por hora, para a gasolina GRID, para as temperaturas investigadas.

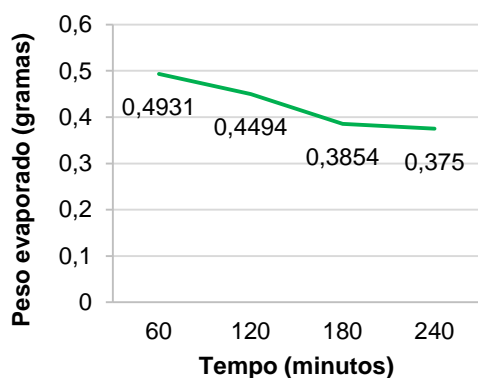
**Figura 4.43. Peso evaporado por hora. Gasolina GRID a T = 55 °C.**



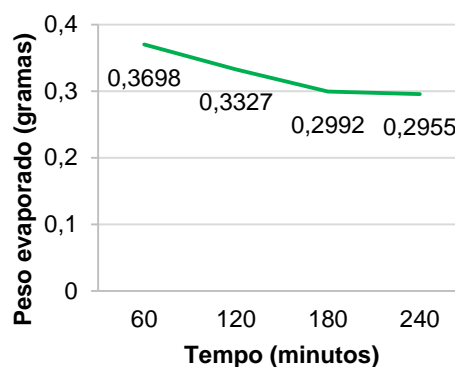
**Figura 4.44. Peso evaporado por hora. Gasolina GRID a T = 50 °C.**



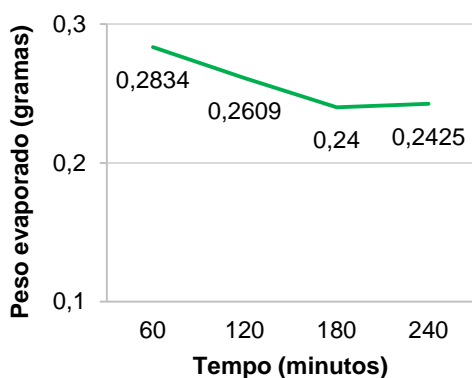
**Figura 4.45. Peso evaporado por hora. Gasolina GRID a T = 45 °C.**



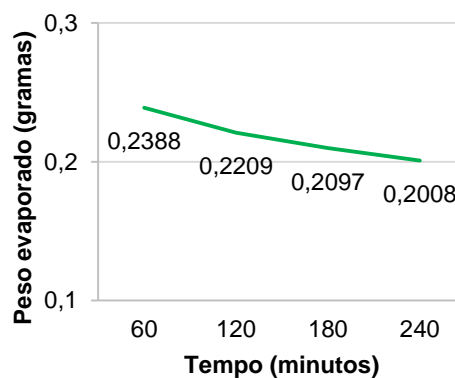
**Figura 4.46. Peso evaporado por hora. Gasolina GRID a T = 40 °C.**



**Figura 4.47. Peso evaporado por hora. Gasolina GRID a T = 35 °C.**



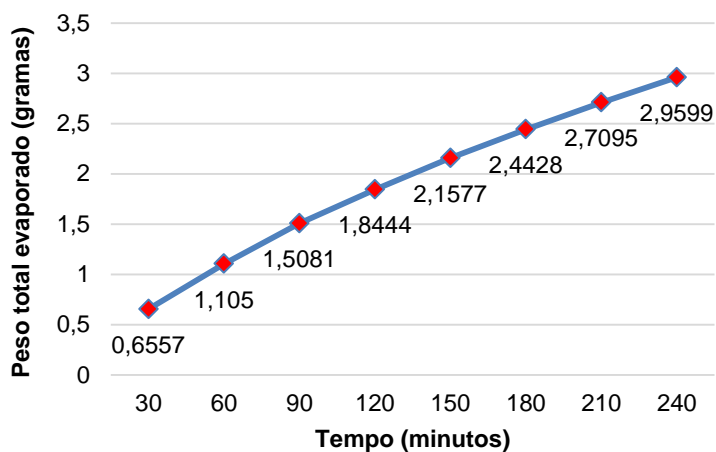
**Figura 4.48. Peso evaporado por hora. Gasolina GRID a T = 30 °C.**



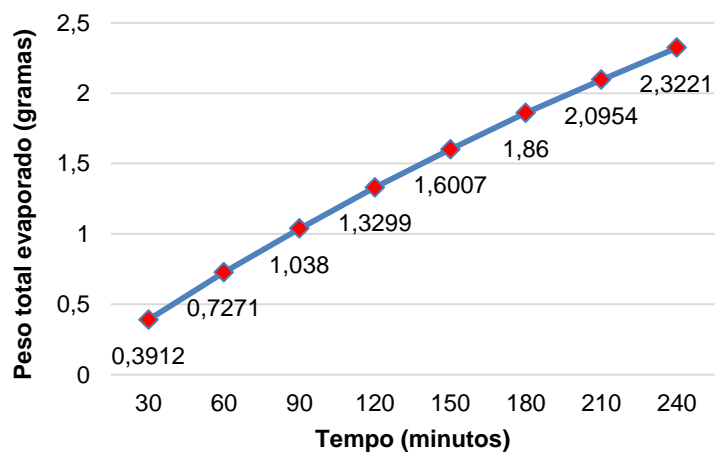
A discussão aplicada à gasolina comum pode ser reaplicada para a GRID, em outras palavras, o peso evaporado (em gramas) da gasolina GRID decai (decrece) com o passar do tempo.

As figuras que seguem retratam o peso total evaporado da gasolina GRID no decorrer do tempo, relacionado com as temperaturas estudadas.

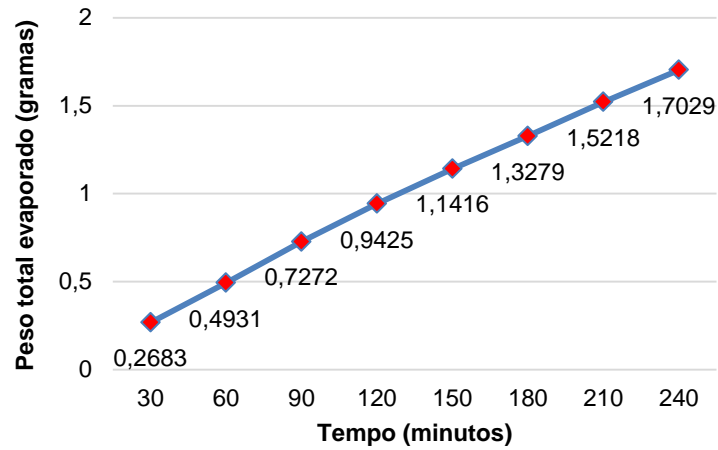
**Figura 4.49. Peso total evaporado. Gasolina GRID a T = 55 °C.**



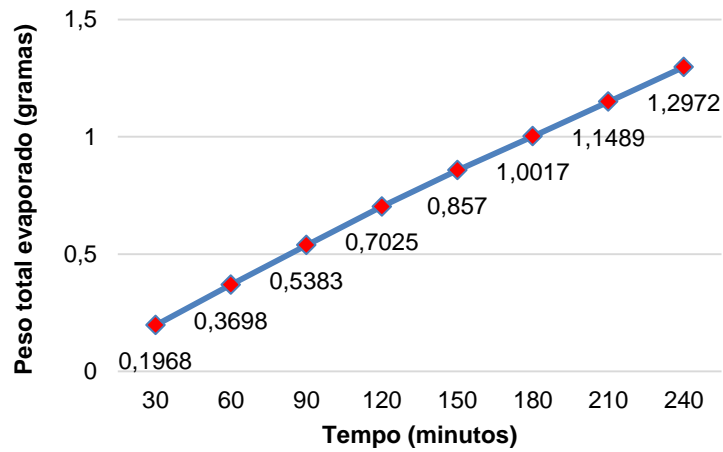
**Figura 4.50. Peso total evaporado. Gasolina GRID a T = 50 °C.**



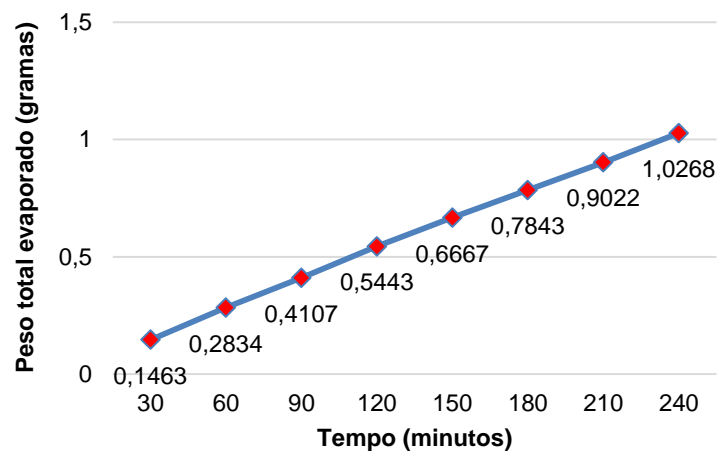
**Figura 4.51. Peso total evaporado. Gasolina GRID a T = 45 °C.**



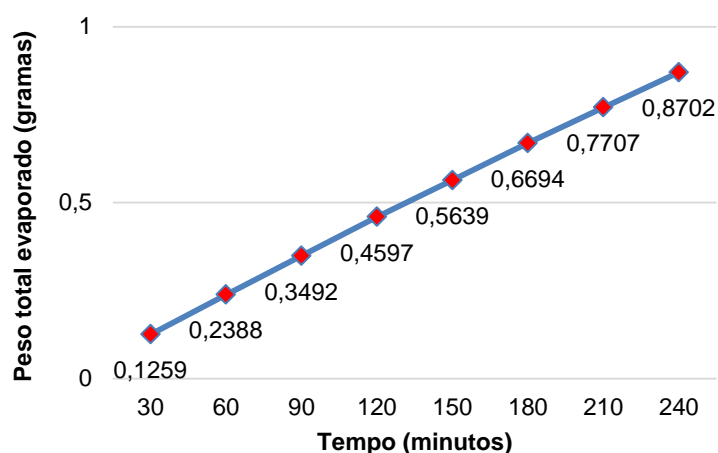
**Figura 4.52. Peso total evaporado. Gasolina GRID a T = 40 °C.**



**Figura 4.53. Peso total evaporado. Gasolina GRID a T = 35 °C.**



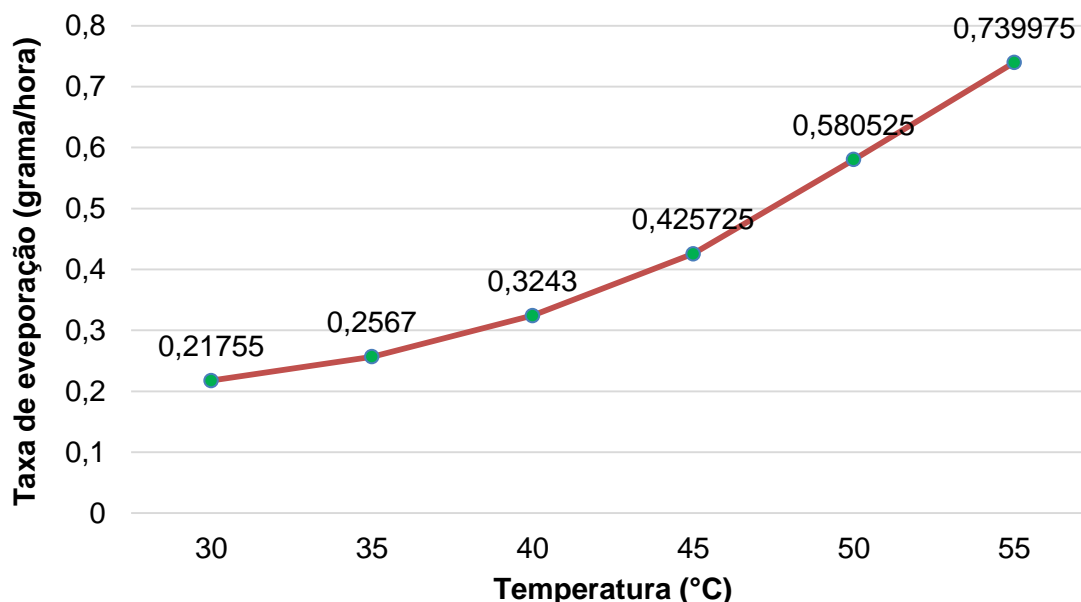
**Figura 4.54. Peso total evaporado. Gasolina GRID a T = 30 °C.**



Com os resultados expostos (Figuras 4.49 a 4.54) observa-se que, para a gasolina GRID, quanto maior a temperatura e o tempo, maior será peso total evaporado.

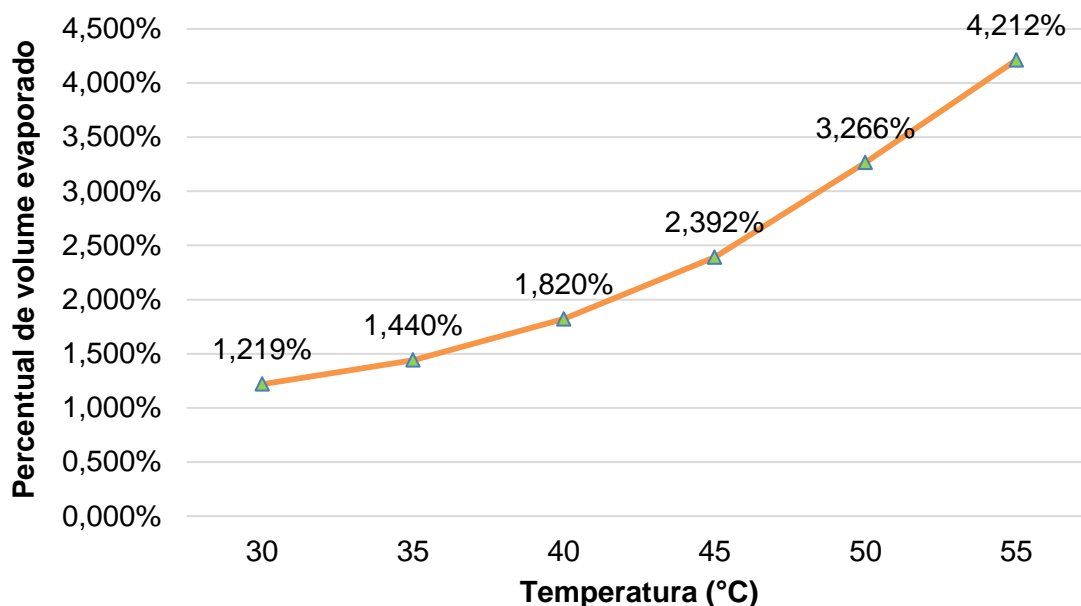
De posse dos dados mostrados anteriormente e com o uso da Eq. (1), consegue-se obter a taxa média de evaporação da gasolina GRID Petrobras em função da temperatura.

**Figura 4.55. Taxa de evaporação média (grama/hora). Gasolina GRID.**



A observação do gráfico da Fig. (4.55) indica, claramente, que a taxa de evaporação média (grama/hora) é crescente com o aumento da temperatura.

**Figura 4.56. Percentual (médio) por hora de volume evaporado em função da temperatura. Gasolina GRID.**



Além do prejuízo financeiro, esses vapores não contidos contaminam o meio ambiente, poluindo fauna e flora, ocasionada sérios danos à natureza e a população em geral (OLIVEIRA *et al.*,2008).

Segundo ABNT NBR 13787 (2013) o posto quando perde tais valores mensais está enquadrado na condição de não estanque, ou seja, com vazamentos, podendo ter sua licença de operação suspensa ou cancelada e também sofrer a abertura de passivo ambiental.

#### 4.4.1 Análise de custos – Gasolina GRID

Considerando como volume de controle o tanque de combustível, com capacidade de 5.000 litros, é possível realizar uma análise de custos, tendo como parâmetro de avaliação o volume evaporado (médio) por hora.

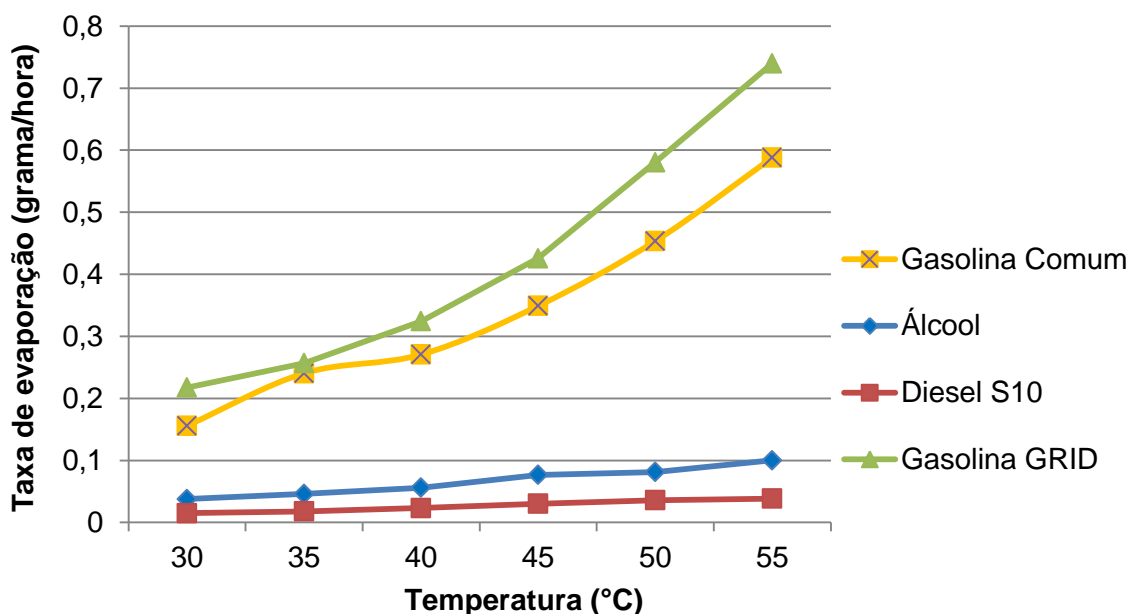
Considerando a temperatura de 35 °C, analisando a Fig. (4.56) constata-se uma perda potencial de, aproximadamente, 72 litros de gasolina GRID por hora, isso considerando apenas as emissões por evaporação.

Em valores monetários, tomando a referência o valor médio estimado pelo Sistema de Levantamento de Preços da ANP, o litro da gasolina comum no Brasil custa R\$ 3,652 (agosto de 2016). Logo a perda, por hora, é de R\$ 262,80, chegando a R\$ 7.884,00 em um mês (considerando trinta dias e uma hora de perda de gasolina GRID). Esses valores serão maiores quanto maior for o tempo de evaporação.

#### 4.5 Análise comparativa entre os combustíveis

É conveniente relacionar os quatro combustíveis analisados no que tange a taxa de evaporação. Dessa forma, é possível avaliar qual deles mais contribui, quantitativamente, para uma potencial perda por emissões fugitivas.

**Figura 4.57. Taxa de evaporação média (grama/hora). Comparação.**



Analisando a Fig. (4.57) percebe-se nitidamente:

- Para todas as temperaturas avaliadas, que a taxa de evaporação (grama/hora) da gasolina GRID (aditivada) é sempre maior que a taxa de vaporização dos demais combustíveis;
- O combustível S10 apresenta a menor taxa de evaporação, para os seis níveis térmicos examinados;

- O menor valor da taxa de evaporação da gasolina comum (0,15603 grama/hora) e da gasolina GRID (0,21755 grama/hora), presente na temperatura de 30°C, é maior que o valor máximo apresentado pelo álcool combustível (0,10025 grama/hora) e diesel S10 (0,03852 grama/hora), na temperatura de 55 °C;
- Realizando uma comparação dos valores da taxa de evaporação para cada temperatura conclui-se que, em média, a gasolina GRID possui uma taxa de evaporação 23% maior que a gasolina comum, 7,5 vezes maior que o álcool combustível e 18 vezes maior que o diesel S10, isso para a mesma temperatura;
- Realizando uma comparação dos valores da taxa de evaporação para cada temperatura conclui-se que, em média, a gasolina comum possui uma taxa de evaporação 5 vezes maior que o álcool combustível e 12 vezes maior que o diesel S10, isso para a mesma temperatura;
- Realizando uma comparação dos valores da taxa de evaporação para cada temperatura conclui-se que, em média, o álcool combustível possui uma taxa de evaporação 2,5 vezes maior que o diesel S10, isso para a mesma temperatura.

---

**CAPÍTULO 5**

**CONCLUSÃO**

---

## 5 CONCLUSÃO

Pode-se concluir deste estudo:

1. Esse estudo vem reforçar a importância de adotar medidas mitigadoras contra as perdas por emissões fugitivas de combustíveis;
2. Para todas as temperaturas, o peso total evaporado da gasolina GRID é sempre maior que a da gasolina comum;
3. Para todas as temperaturas, o peso total evaporado da gasolina comum é sempre maior que a do álcool combustível;
4. Para todas as temperaturas, a peso total evaporado do álcool combustível é sempre maior que a do diesel S10.
5. Para todas as temperaturas, a perda de volume médio por hora é sempre maior para a gasolina GRID que para a gasolina comum;
6. Para todas as temperaturas, a perda de volume médio por hora é sempre maior para a gasolina comum que para o EHC;
7. Para todas as temperaturas, a perda de volume médio por hora é sempre maior para o EHC que para o diesel S10;
8. A partir da temperatura de 30 °C, a gasolina GRID ultrapassa, em apenas uma hora de emissão, o limite de perda diária permitido, conforme legislação nacional, em um posto onde não existem controles de tais emissões.
9. A partir da temperatura de 30 °C, a gasolina comum ultrapassa, em apenas uma hora de emissão o limite de perda diária permitido, conforme legislação nacional, em um posto onde não existem controles de emissões fugitivas.
10. Em todas as temperaturas, tanto o EHC quanto o óleo diesel S10, não ultrapassam o valor de perda diária imposta pela legislação nacional. Entretanto, o não controle dessas emissões pode gerar contaminação do meio ambiente, através da condensação dos vapores de combustível.
11. Dentre os combustíveis estudados, o mais suscetível à evaporação é a gasolina GRID. Isso é devido, principalmente, a sua maior volatilidade e ao aditivo adicionado em sua composição;
12. Prejuízos financeiros são observados quando o proprietário do posto revendedor não controla ou elimina essas perdas evaporativas.

No estado do Rio Grande do Norte (RN) adotam-se, obrigatoriamente, medidas para controle de tais emissões, ideia essa resistida, muitas vezes, por parte

dos proprietários que acham desnecessário realizar tal investimento. No RN, se a consciência ambiental não resolve, a lei o faz.

Entretanto observa-se, em vários estados da nação, o não controle de tais emissões, basta observarmos os postos de beira de estradas e rodovias. Esse descaso com o meio ambiente trará danos à natureza e os cofres do posto. Recomenda-se uma lei nacional que obrigue os proprietários de posto de combustível a adotarem as proteções ambientais necessárias a se reduzir tais inconvenientes. O modelo adotado no RN (Projeto Selo Verde) pode servir como modelo para elaboração dessa iniciativa

Para evitar tais transtornos financeiros e ambientais devem-se adotar medidas que evitem ou minimizem tais efeitos, dentre eles o uso de sistemas de recuperação de vapores, localizadas nas linhas de respiros dos tanques ou nas bombas de abastecimento. Com a flutuação térmica sofrida pelo combustível o mesmo irá evaporar, entretanto, com a diminuição da temperatura, caso esse vapor não seja emitido, o combustível condensará, voltando ao estado de líquido, evitando assim todo o transtorno mencionado.

Outra alternativa é o uso de válvulas de pressão e vácuo que minimizam as perdas por evaporação, principalmente no momento do abastecimento do tanque, que é o período onde o SASC fica com pressão maior que a atmosfera, fazendo com que os vapores provenientes no sistema subterrâneo sejam liberados à atmosfera.

Sugere-se também o estudo de tecnologias nacionais para o controle das emissões fugitivas. O uso de sistemas de recuperação de vapor, técnica já consagrada em outras partes do mundo (CRUZ-NÚÑEZ *et al.*, 2003; HAKKOLA, SAARINEN, 2000), porém pouco difundida aqui no Brasil, devido, principalmente, aos altos custos necessários para implantação.

---

**CAPÍTULO 6**

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

---

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAM, G.; DUNCAN, H.J. **Effect of diesel fuel on growth of selected plant species.** Environmental Geochemistry and Health, n. 21, p. 353–357, 1999.

ADAM, G.; DUNCAN, H.J. **Influence of diesel fuel on seed germination.** Environmental Pollution, v. 120, p. 363–370, 2002.

ADEBUSOYE, S.A.; ILORI, M.O.; OBAYORI, O.S.; OYETIBO, G.O.; AKINDELE, K.A.; Amund, O.O. 2010. **Efficiency of cassava steep liquor for bioremediation of diesel oilcontaminated tropical agricultural soil.** Environmentalist 30: 24–34.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP. **Síntese dos preços praticados no Brasil.** Disponível em <[http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo\\_Mensal\\_Combustiveis.asp](http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo_Mensal_Combustiveis.asp)>. Acesso: 26 ago. 2016.

ALKIO, M.; TABUCHI, T.M.; WANG, X.; COLÓN-CARMONA, A. **Stress responses to polycyclic aromatic hydrocarbons in Arabidopsis include growth inhibition and hypersensitive response-like symptoms.** Journal of Experimental Botany, v. 56, n. 421, p. 2983-2994, 2005.

American Petroleum Institute (API). **Standart 2000: Venting atmospheric and low-pressure storage tanks non refrigerated and refrigerated.** Whashington, DC, 2008.

ANDERSON, L. G. **Ethanol fuel use in Brazil: air quality impacts.** Energy & Environmental Science, v. 2, n. 10, p. 1015, 2009.

**ANUÁRIO ESTATÍSTICO BRASILEIRO DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS.** 2015

ARMAROLI, N.; BALZANI, V. **The legacy of fossil fuels.** Chemistry, an Asian journal, v. 6, n. 3, p. 768–84, 1 mar. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 13783: **Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Manuseio e instalação de tanque subterrâneo.** Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 13786: **Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Seleção dos componentes para instalação de sistema de armazenamento subterrâneo de combustíveis (SASC).** Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 14605-2: **Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Sistema de drenagem oleosa. Parte 2: Projeto, metodologia de dimensionamento de vazão,**

**instalação, operação e manutenção para posto revendedor veicular.** Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 14639:  
**Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Posto revendedor veicular (serviços) e ponto de abastecimento - Instalações elétricas.** Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 14722:  
**Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Tubulação não metálica subterrânea - Polietileno.** Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 14867:  
**Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Tubo metálico flexível - Requisitos de desempenho.** Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 15005:  
**Armazenamento de líquidos combustíveis e inflamáveis - Sistema de armazenamento subterrâneo de combustíveis (SASC) - Válvula antitransbordamento.** Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 15015:  
**Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Válvula de boia flutuante.** Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 15118:  
**Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Câmaras de contenção e dispositivos associados.** Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 15139:  
**Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Válvula de retenção instalada em linhas de sucção.** Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 15427:  
**Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Válvula de segurança da mangueira.** Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 15473:  
**Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Posto revendedor veicular (serviços) - Fabricação e desempenho de filtro adicional para unidade abastecedora (bomba medidora).** Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 16517:  
**Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Dispositivos para sistemas de gerenciamento de unidades abastecedoras (bombas medidoras) - Requisitos.** Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 5419-3: **Proteção contra descargas atmosféricas. Parte 3: Danos físicos a estruturas e perigos à vida.** Rio de Janeiro, 2015.

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. **Coletânea Eletrônica de Normas Técnicas - Armazenamento de Líquidos Inflamáveis e Combustíveis.** Rio de Janeiro, 2016.

BALES, M. P.; DA SILVA, S. R.; HONÓRIO, R. M. **Metodologia de inventário de evaporação de combustível no abastecimento de veículos leves do ciclo Otto.** CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, v. 1, p. 13, 2015.

BECKER, E.B., CAREY, G.F., ODEN, T., 1981. **Finite elements: an introduction.** Prentice-Hall, New Jersey.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP. **Resolução ANP nº 65. Regulamenta as especificações dos óleos diesel de uso rodoviário.** Diário Oficial da União, Brasília, 12 dez. 2011.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP. **Resolução ANP nº 309. Estabelece as especificações das gasolinas automotivas destinadas ao consumidor final e comercializadas em todo território nacional.** Diário Oficial da União, Brasília, 27 dez. 2015.

BRASIL. Lei N. 13.263, de 2016. **Dispõe sobre os percentuais de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado no território nacional.** Diário Oficial da União, Brasília, Seção I, 24 mar. 2016. p. 1.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Agropecuária e Abastecimento – MAPA. **Portaria MAPA nº 65. Fixa, o percentual obrigatório de adição de etanol anidro combustível à gasolina.** Diário Oficial da União, Brasília, 05 mar. 2015.

BRCIC, I. **General population exposure to volatile aromatic hydrocarbons.** Arhiv za higijenu rada i toksikologiju, v. 55, n. 4, p. 291–300, 2004.

CETESB - **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**, v. 1, p. 13, 2015.

CHOFREHA, A. G.; Goni, F. A.; Shaharounc, A. M.; ISMAIL, S.; KLEME, J. J.. **Sustainable enterprise resource planning: imperatives and research directions.** Journal of Cleaner Production, v. 71, p. 139–147, 2014.

CLAXTON, L. D. **The history, genotoxicity, and carcinogenicity of carbon-based fuels and their emissions. Part 3: Diesel and gasoline.** Mutation Research/Reviews in Mutation Research, v. 763, p. 30–85, set. 2014.

CRUZ-NÚÑEZ, X.; HERNÁNDEZ-SOLÍS, J. M.; RUIZ-SUÁREZ, L. G. **Evaluation of vapor recovery systems efficiency and personal exposure in service stations in Mexico City.** The Science of the total environment, v. 309, n. 1-3, p. 59–68, 20 jun. 2003.

DE FREITAS, L. C.; KANEKO, S. **Ethanol demand under the flex-fuel technology regime in Brazil.** Energy Economics, v. 33, n. 6, p. 1146–1154, nov. 2011.

DIAS, G. M. **Adequação Ambiental.** Ministério Público do Estado do Rio Grande do Norte, v. 1, p. 169, 2012.

EDOKPOLO, B.; YU, Q. J.; CONNELL, D. **Health risk assessment of ambient air concentrations of benzene, toluene and Xylene (BTX) in service station environments.** International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 11, n. 6, p. 6354–6374, 2014.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 306 p.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **European environment — state and outlook 2015: Assessment of global megatrends.** [s.l: s.n.].

FERNANDES, M. **Influência do etanol na solubilidade de hidrocarbonetos monoaromáticos em aquíferos contaminados com gasolina.** 1997. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina

FERREIRA, C. R. L.; SILVA, D. C.; LIMA, E. M. **Diagnóstico ambiental de um posto revendedor de combustíveis (PRC) na cidade de Natal / RN.** CONEPETRO, 2015.

FINOTTI, A. R.; TEIXEIRA, C. E.; FEDRIZZI, F.; CALGLIARI, J.; NASCIMENTO FILHO, I. **Evaluation of the ethanol influence over the volatilization grade of BTEX in soil impacted by gasoline / ethanol spills Avaliação da influência do etanol sobre o grau de volatilização BTEX em solos impactados por derrames de gasolina / etanol.** Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 14, p. 443–448, 2009.

FORTE, E. **Contaminação de aquífero por hidrocarbonetos: estudo de caso na Vila Tupi, Porto Velho – Rondônia.** Quim.Nova, v. 30, n. 7, p. 1539–1544, 2007.

GALDINO, C. A. B.; DOS SANTOS, E. M.; PINHEIRO, J. I.; MARQUES JÚNIOR, S.; RAMOS, R. E. B. **Passivo ambiental: revisão teórica de custos na indústria do petróleo.** Produção, v. 14, n. 1, 2004.

GNANSOUNOU, E.; DAURIAT, A. **Ethanol fuel from biomass: A review**. Journal of Scientific & Industrial Research, v. 64, p. 809–821, 2005.

GOLDEMBERG, J. **The Brazilian biofuels industry**. Biotechnology for Biofuels, v. 1, p. 7, 2008.

HAKKOLA, M. A.; SAARINEN, L. H. **Customer exposure to gasoline vapors during refueling at service stations**. Applied Occupational and Environmental Hygiene, v. 15, n. 9, p. 677–680, 2000.

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.

JOHNSON, T. V. **Review of diesel emissions and control**. International Journal of Engine Research, v. 10, n. 5, p. 275–285, 2009.

JOHNSTON, I. W.; NARSILIO, G. A.; COLLS, S. **Emerging Geothermal Energy Technologies**. KSCE Journal of Civil Engineering, v. 15, n. 4, p. 643–653, 2011.

KANG, S.; KIM, S.; Oh, S.. Lee, D. **Predicting spatial and temporal patterns of soil temperature based on topography, surface cover and air temperature**. Forest Ecology and Management, v. 136, n. 1, p. 173–184, 2000a.

KNOTHE, G. **Propriedades do combustível: Número de cetano, calor de combustão e a viscosidade**. In: KNOTHE, G. (Org.); VAN GERPEN, J.; KRAHL, J. Manual de Biodiesel. Tradução: Luiz Pereira Ramos. São Paulo: E Blücher, 2006. pp. 85-90.

LAGERCRANTZ, J. (THE S. A. O. G. M. **Ethanol production from Sugar Cane in Brazil**. Report from fact finding trip on Brazilian ethanol production, 2006.

LORENZETT, D. B.; ROSSATO, M. V.; NEUHAUS, M. **Medidas de Gestão Ambiental adotadas em um posto de abastecimento de combustíveis**. Revista Gestão Industrial, 2011.

LOWRIE, W. **Fundamentals of geophysics** (p. 220–252). New York: Cambridge University Press, 2007.

MARTINS, C. R. O. **Avaliação da estrutura dos postos de venda de combustíveis do Distrito Federal quanto à geração de esíduos aliada a análise de sua citotoxicidade e genotoxicidade**. Tese (Doutorado em Biologia) Universidade de Brasília. 2007, p. 109.

MARTINS, M. E. **Potencialidades, dificuldades e benefícios da implementação de práticas de gestão ambiental em postos revendedores de combustíveis do Rio Grande do Sul**. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Economia

e Meio Ambiente). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015., v. 1, p. 106, 2015.

MINDRISZ, A. C. **Avaliação da contaminação da água subterrânea de poços tubulares, por combustíveis fósseis, no município de Santo André, São Paulo: uma contribuição à gestão ambiental.** p. 254, 2006.

MOOLLA, R.; CURTIS, C. J.; KNIGHT, J. **Occupational exposure of diesel station workers to BTEX compounds at a bus depot.** International journal of environmental research and public health, v. 12, n. 4, p. 4101–15, abr. 2015.

MORENO, Thiago. **Entenda a diferença entre os combustíveis vendidos no País.** Site iCarros, São Paulo, 06 de maio de 2016. Disponível em <<http://www.icarros.com.br/noticias/manutencao-e-servicos/entenda-a-diferenca-entre-os-combustiveis-vendidos-no-pais/16237.html>>. Acesso: 11 jul. 2016.

NASCIMENTO, F. M. F. **Equipamentos para controle ambiental em postos de serviços.** 14º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, v. 1, n. 031, p. 1–10, 2013.

Okamoto, K.; Watanabe, N.; Hagimoto, Y.; Miwa, K.; Ohta, H. **Changes in evaporation rate and vapor pressure of gasoline with progress of evaporation.** Fire Safety Journal, v. 44, n. 5, p. 756–763, jul. 2009.

ONAT, A. **A review of fugitive emissions. Sealing Technology,** v. 2006, n. 10, p. 7–9, 2006.

PEREIRA, V. B.; GOMES, P. L.; OLIVEIRA, E. A. D. N. **Estratégias ambientais em postos de combustíveis: o caso de posto de combustível ecológico.** Responsabilidade Socioambiental das Organizações Brasileiras Niteroi, RJ, Ed. IV Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Anais, 2008.

PERIAGO, J. F.; PRADO, C. **Evolution of occupational exposure to environmental levels of aromatic hydrocarbons in service stations.** The Annals of occupational hygiene, v. 49, n. 3, p. 233–40, abr. 2005.

Petrobras Distribuidora S.A. **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico – FISPQ. Etanol Hidratado Combustível.** Nº FISPQ: BR0020 v. 6, 2015.

Petrobras Distribuidora S.A. **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico – FISPQ. Gasolina Comum.** Nº FISPQ: BR0051 v. 7, 2015.

Petrobras Distribuidora S.A. **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico – FISPQ. Gasolina GRID.** Nº FISPQ: BR0089, versão 4, 2015.

Petrobras Distribuidora S.A. **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico – FISPQ. Diesel S10 Combustível.** Nº FISPQ: BR0119, versão 6, 2015.

PETROBRAS DISTRIBUIDORA. **Dúvidas frequentes: gasolinas Petrobras.**

Disponível em:

<[http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/produtos/automotivos/petrobrasgrid/!ut/p/c4/04\\_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3gjf09TAcjT18L3zBDA0fnQB9\\_Z0tn dz8TQ\\_2CbEdFABcPNRU!/?PC\\_7\\_2OI50D2IM00340AS2OLMBC0827000000\\_WCM\\_CONTEXT=/wps/wcm/connect/portal+de+conteudo/produtos/automotivos/gasolina/duvidas+frequentes+gasolinas+petrobras#18](http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/produtos/automotivos/petrobrasgrid/!ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3gjf09TAcjT18L3zBDA0fnQB9_Z0tn dz8TQ_2CbEdFABcPNRU!/?PC_7_2OI50D2IM00340AS2OLMBC0827000000_WCM_CONTEXT=/wps/wcm/connect/portal+de+conteudo/produtos/automotivos/gasolina/duvidas+frequentes+gasolinas+petrobras#18)>. Acesso: 15 jul. 2016.

POULIOT, S. **Arbitrage between ethanol and gasoline: evidence from motor fuel consumption in Brazil** *Arbitrage between ethanol and gasoline: evidence from motor fuel consumption in Brazil* \*. Agricultural & Applied Economics Association's 2013 AAEA & CAES Annual Meeting, v. 1, p. 33, 2013.

Ramalho, A. M. Z.. Sobrinho, H. L. A.. Dos Anjos, R. B.; Dantas, T. N. C.; Da Silva, D. R. **Study of contamination by benzene due diesel and gasoline leaks at a gas station in Natal / Brazil.** *International Journal of Engineering & Technology IJET - IJENS*, v. 14, p. 49–54, 2014.

ROCHA, E.C. **Desenvolvimento de métodos de preparação de amostras de pesticidas organoclorados e compostos orgânicos voláteis, em uma única etapa, para análise por cromatografia gasosa.** 1997. Tese (Doutorado) - Unicamp, Campinas.

Rosa Ma. Rosales, Pedro Martínez-Pagán, Angel Faz, Jaume Bech. **Study of subsoil in former petrol stations in SE of Spain: Physicochemical characterization and hydrocarbon contamination assessment.** *Journal of Geochemical Exploration*, v. 147, p. 306–320, dez. 2014.

ROSENBERG, N.J.; BLAD, B.L.; VERMA, S.B. **Microclimate: The Biological Environment**, 2nd ed., Wiley, 1983.

SANTOS, A.C.; Peixoto, R.A. **Efeito da Adição de Etanol à Gasolina na Emissão de Gases do Efeito Estufa.** *Ciência; Engenharia*, 17(1/2):33-41, 2008.

SCANDIFFIO, M. I. G. **Análise Prospectiva do Álcool Combustível no Brasil - Cenários 2004-2024.** p. 201, 2005.

SIGUT, M.; ALAYÓN, S.; HERNÁNDEZ, E. **Applying pattern classification techniques to the early detection of fuel leaks in petrol stations.** *Journal of Cleaner Production*, v. 80, p. 262–270, out. 2014.

SILVA, Fernando Moreira da; CHAVES, Marcelo dos Santos; LIMA, Zuleide Maria C. **Geografia Física II.** Natal, RN: EDUFRN, 2009.

SOUZA, A. M. Estudo de emissões de vapores orgânicos 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.

SOUZA, S. G. **Um estudo sobre a evolução das câmaras de Combustão dos motores do ciclo Otto à gasolina e sua aplicação ao etanol hidratado como combustível alternativo**, 2004b.

TEXEIRA, E.C. **O desenvolvimento da tecnologia Flex-fuel no Brasil**. São Paulo: Instituto DNA Brasil, 2005. 28p.

THUNHOLM, B. A. **Comparison of measured and simulated soil temperature using air temperature and soil surface energy balance as boundary condition** *Agric. and Forest Meteorol.*, 53 (1990), pp. 59–72.

WICANDER R., MONROE, J.S. **Fundamentos de Geologia**. São Paulo,. Cengage Learning, 508p, 2009.

WILLIAMS, J., SMITH, M. **The Frozen Earth-Fundamentals of Geocryology**. (p. 323). New York: Cambridge University Press, 1989.

WONGWISES, S.; CHANCHLONA, S.; RATTANAPRAYURA, I. **Losses from the Refueling Displacement Cars Operation of Passenger**. *Thammasat Int Dc Tech*, v. 2, n. 1, p. 22–29, 1997.

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 gas station emissions**. *Atmos. Chem. Phys. Discuss*, v. 11, p. 14719–14746, 2011.

Jian Zhou; Yan You; Zhipeng Bai; Yandi Hu; Jiefeng Zhang; Nan Zhang. **Health risk assessment of personal inhalation exposure to volatile organic compounds in Tianjin, China**. *Science of the Total Environment*, v. 409, n. 3, p. 452–459, 2011.

Ling Zhu, Jiaqing Chen, Yan Liu, Rongmei Geng, Junjie Yub. **Experimental analysis of the evaporation process for gasoline**. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v. 25, n. 6, p. 916–922, 2012.

---

**APENDICE**

**ARTIGOS CIENTÍFICOS E TÉCNICOS**

---

## APÊNDICE – ARTIGOS CIENTÍFICOS E TÉCNICOS

A presente dissertação resultou nas seguintes publicações:

- Artigo de Científico I:

Trabalho completo publicado nos anais do VIII Congresso Brasileiro de Termodinâmica Aplicada - CBTERMO, 16 a 26 de novembro de 2015, Aracaju – Sergipe, sob o título:

**ANÁLISE DA PERDA DE VÁCUO EM TESTES DE ESTANQUEIDADE DE POSTO DE COMBUSTÍVEL: NBR-13784 (revisão 2014)**

*Fontes, F. A. O., Guerra, A. R. O., Queiroz, W. F., Fontes, L. A. O., Mendes, J. U. L., André, T. S., Medeiros, I. P. M., Barbosa, C. R. F.*

- Artigo de Científico II:

Trabalho completo publicado nos anais do II Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - CONEPETRO, 10 a 12 de agosto de 2016, Natal – Rio Grande do Norte, sob o título:

**TAXA DE EVAPORAÇÃO DO DIESEL S10 EM TANQUES DE POSTOS DE COMBUSTÍVEIS: UMA AVALIAÇÃO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA.**

*Thiago da Silva André; Francisco de Assis Oliveira Fontes; Ângelo Roncalli Oliveira Guerra; Cleiton Rubens Formiga Barbosa.*

- Artigo de Científico III:

Trabalho completo publicado nos anais do II Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - CONEPETRO, 10 a 12 de agosto de 2016, Natal – Rio Grande do Norte, sob o título:

**TAXA DE EVAPORAÇÃO DA GASOLINA GRID EM TANQUES DE POSTOS DE COMBUSTÍVEIS: UMA AVALIAÇÃO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA.**

*Thiago da Silva André; Francisco de Assis Oliveira Fontes; Ângelo Roncalli Oliveira Guerra; Cleiton Rubens Formiga Barbosa.*

- Artigo de Científico IV:

Trabalho completo publicado nos anais do IX Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – CONEM, 21 a 25 de agosto de 2016, Fortaleza, Ceará, sob o título:

**TAXA DE EVAPORAÇÃO DO ÁLCOOL COMBUSTÍVEL EM TANQUES DE POSTOS DE COMBUSTÍVEIS: UMA AVALIAÇÃO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA.**

*Thiago da Silva André; Francisco de Assis Oliveira Fontes; Ângelo Roncalli Oliveira Guerra; Cleiton Rubens Formiga Barbosa; Isaac Péricles Maia de Medeiros; Ramon Rudá Brito Medeiro.*

- Artigo de Científico V:

Trabalho completo publicado nos anais do IX Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – CONEM, 21 a 25 de agosto de 2016, Fortaleza, Ceará, sob o título:

**TAXA DE EVAPORAÇÃO DA GASOLINA COMUM EM TANQUES DE POSTOS DE COMBUSTÍVEIS: UMA AVALIAÇÃO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA.**

*Thiago da Silva André; Francisco de Assis Oliveira Fontes; Ângelo Roncalli Oliveira Guerra; Cleiton Rubens Formiga Barbosa; Isaac Péricles Maia de Medeiros; Ramon Rudá Brito Medeiro.*

- Artigo de Científico VI:

Trabalho completo apresentado no II Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Meio Ambiente e Tecnologia – CIEEMAT, 8 a 11 de novembro de 2016, Angra dos Reis, Rio de Janeiro, sob o título:

**ESTUDO COMPARATIVO DA TAXA DE EVAPORAÇÃO DO ÁLCOOL COMBUSTÍVEL E DIESEL S10 EM TANQUES DE POSTOS DE SERVIÇOS: UMA AVALIAÇÃO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA**

*Thiago da Silva André; Francisco de Assis Oliveira Fontes; Ângelo Roncalli Oliveira Guerra; Cleiton Rubens Formiga Barbosa; Ramon Rudá Brito Medeiros; Isaac Péricles Maia de Medeiros; Paulo César Figueiredo Mendes.*

- Artigo de Científico VII:

Trabalho completo apresentado no II Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Meio Ambiente e Tecnologia – CIEEMAT, 8 a 11 de novembro de 2016, Angra dos Reis, Rio de Janeiro, sob o título:

**ESTUDO COMPARATIVO DA TAXA DE EVAPORAÇÃO DA GASOLINA COMUM E GASOLINA GRID EM TANQUES DE POSTOS DE SERVIÇOS: UMA AVALIAÇÃO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA**

*Thiago da Silva André; Francisco de Assis Oliveira Fontes; Ângelo Roncalli Oliveira Guerra; Cleiton Rubens Formiga Barbosa; Isaac Péricles Maia de Medeiros; Paulo César Figueiredo Mendes.*

- Artigo de Científico VIII – Revista:

Trabalho aceito no I Congresso Internacional de Motores, Combustível e Combustão – CIMCOO, 16 a 18 de novembro de 2016, Belo Horizonte, Minas Gerais, sob o título:

**ESTUDO COMPARATIVO DA TAXA DE EVAPORAÇÃO DA GASOLINA COMUM E DO ÁLCOOL COMBUSTÍVEL EM TANQUES DE POSTOS DE COMBUSTÍVEIS: UMA AVALIAÇÃO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA**

*Thiago da Silva André; Francisco de Assis Oliveira Fontes; Ângelo Roncalli Oliveira Guerra; Cleiton Rubens Formiga Barbosa; Eduardo Lins de Barros Neto.*

**Observação: Este artigo será publicado no “Electronic Journal “ACTA MECHANICA ET MOBILITATEM”, no ano de 2017.**

- Artigo de Científico IX:

Trabalho completo apresentado 6º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel, 9º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel, 22 a 25 de novembro de 2016, Natal, Rio Grande do Norte, sob o título:

**ESTANQUEIDADE DE TANQUES DE COMBUSTÍVEL DEVIDO À TAXA DE EVAPORAÇÃO DO BIODIESEL B7**

*Thiago da Silva André; Francisco de Assis Oliveira Fontes; Ângelo Roncalli Oliveira Guerra; Cleiton Rubens Formiga Barbosa; Isaac Péricles Maia de Medeiros; Paulo César Figueiredo Mendes.*



VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE  
TERMODINÂMICA APLICADA  
16 A 20 DE NOVEMBRO DE 2015  
ARACAJU - SE

**ANÁLISE DA PERDA DE VÁCUO EM TESTES DE ESTANQUEIDADE  
DE POSTO DE COMBUSTÍVEL: NBR-13784 (revisão 2014)**

Fontes, F. A. O<sup>1</sup>, Guerra, A. R. O<sup>1</sup>, Queiroz, W. F<sup>1</sup>, Fontes, L. A. O<sup>1</sup>, Mendes, J. U. L<sup>1</sup>,  
André, T. S<sup>2</sup>, Medeiros, I. P. M<sup>2</sup>, Barbosa, C. R. F<sup>1,2</sup>.

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Mecânica – DEM, Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN  
Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Av. Senador Salgado Filho, 3000, Campus Universitário, Lagoa Nova, CEP: 59078-970  
Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

A distribuição e abastecimento de combustíveis e derivados de petróleo compreende uma atividade potencial poluidora com forte impacto ambiental. Desta forma, como principal medida mitigadora de prevenção foi estabelecido pela resolução CONAMA 273 o requisito fundamental de procedimento normativo para garantir a estanqueidade dos Sistemas Subterrâneos de Armazenamento de Combustíveis – SASC. No Brasil a Norma Regulamentadora NBR 13784 estabelece os procedimentos adotados na realização do teste de estanqueidade. Dentre outros procedimentos estabelecidos na referida norma, o método mais utilizado por razões de custo, simplicidade e de grande eficácia é o de aplicação de vácuo. Este método tem baixo fator de impacto ambiental e possibilita o teste simultâneo e integrado de toda a instalação do SASC (tanques e linhas de abastecimento e ventilação). A última revisão da NBR-13784 alterou o nível da lâmina de combustível dentro do tanque de 10 cm para atualmente 96 centímetros. Por este método é aplicado no SASC um vácuo máximo de 100 mmHg e a garantia da estanqueidade é considerada quando a curva de queda de vácuo é propensa à estabilidade, apresentando um decaimento inferior a 10 mm Hg em um intervalo de tempo contínuo de 30 minutos. Este trabalho tem por objetivo alertar sobre a alteração desta última revisão da norma principalmente com relação ao combustível “gasolina”, pois foi constatado com base em uma grande amostragem de testes que nas condições climáticas de temperaturas da região nordeste do Brasil percebeu-se que quando do teste utilizando vácuo com o nível da lâmina de 96 cm a taxa de evaporação de evaporação do combustível gasolina produz uma queda de vácuo pela elevação da pressão parcial de vapor dentro do compartimento testado. Este efeito intensifica a queda de vácuo, simulando como se fosse um vazamento ou não estanqueidade. Ficou constado através de testes realizados em compartimentos de tanques com lâminas de 96 cm de combustível que tiveram resultado não estanques, ao ser removido o combustível para lâmina inferior 10 cm atendiam ao requisito da norma 13784. Este artigo apresenta os resultados de variância em testes de estanqueidade efetuados numa amostra de SASC de postos do Estado do RN, acompanhados por especialistas da UFRN em conformidade com os Termos de Ajustamento de Conduta do Ministério Público de Meio Ambiente do Estado.

Palavras-chave: postos de combustível; NBR-13784; vedação de vácuo; queda de vácuo.



## TAXA DE EVAPORAÇÃO DO DIESEL S10 EM TANQUES DE POSTOS DE COMBUSTÍVEIS: UMA AVALIAÇÃO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA.

Thiago da Silva André<sup>1</sup>; Francisco de Assis Oliveira Fontes<sup>2</sup>; Ângelo Roncalli Oliveira Guerra<sup>3</sup>; Cleiton Rubens Formiga Barbosa<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - [thiagoandreengmec@hotmail.com](mailto:thiagoandreengmec@hotmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Mecânica - [franciscofontes@uol.com.br](mailto:franciscofontes@uol.com.br)

<sup>3</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Mecânica - [aroncalli@uol.com.br](mailto:aroncalli@uol.com.br)

<sup>4</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Mecânica - [cleiton@ufrnet.br](mailto:cleiton@ufrnet.br)

### RESUMO

Este artigo mostrará os resultados de análises experimentais que mediram a taxa de evaporação do diesel S10, realizados em seis níveis de temperatura e uma análise de custos das perdas por evaporação, com aplicação em postos de combustíveis. O diesel S10 combustível é conhecido por possuir enxofre em sua composição, elemento prejudicial ao meio ambiente e à saúde humana. Apresenta, quando submetido a diferentes temperaturas, variações na sua taxa de evaporação, o que ocasiona liberação de vapor de diesel S10 para a atmosfera, podendo contaminar solos, lençóis freáticos, vegetação entre outros. Em postos de combustíveis, esse vapor de diesel S10 é liberado ao ambiente ou através das linhas de respiro ou no momento do abastecimento de veículos, são as chamadas emissões fugitivas. O presente estudo aponta que, quando um posto não possui os dispositivos de proteção adequados, pode chegar a perder, aproximadamente, por emissões fugitivas, 5 (cinco) litros de diesel S10 por hora, isso para um tanque subterrâneo de 5.000 litros de combustível a uma temperatura de 40°C.

**Palavras-chaves:** Taxa de evaporação, diesel S10, emissões fugitivas, custos.



## TAXA DE EVAPORAÇÃO DA GASOLINA GRID EM TANQUES DE POSTOS DE COMBUSTÍVEIS: UMA AVALIAÇÃO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA.

Thiago da Silva André<sup>1</sup>; Francisco de Assis Oliveira Fontes<sup>2</sup>; Ângelo Roncalli Oliveira Guerra<sup>3</sup>; Cleiton Rubens Formiga Barbosa<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - [thiagoandreengmec@hotmail.com](mailto:thiagoandreengmec@hotmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Mecânica - [franciscofontes@uol.com.br](mailto:franciscofontes@uol.com.br)

<sup>3</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Mecânica - [aroncalli@uol.com.br](mailto:aroncalli@uol.com.br)

<sup>4</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Mecânica - [cleiton@ufrnet.br](mailto:cleiton@ufrnet.br)

### RESUMO

Este estudo apresenta o resultado de análises experimentais que mediram a taxa de evaporação da gasolina GRID (aditivada), realizados para seis valores de temperaturas diferentes, seguido de uma análise de custos das perdas por evaporação aplicada à tanques subterrâneos de postos de combustíveis. A gasolina GRID é formada por uma variada quantidade de elementos químicos, dentre esses os compostos de nitrogênio (N), enxofre (S) e os compostos voláteis, e por isso, vapores desse combustível quando liberado para atmosfera podem causar danos ao meio ambiente. Quando do uso em postos de combustíveis, esse vapor é liberado quando do abastecimento do veículo ou pelas linhas de respiro do Sistema de Abastecimento Subterrâneo de Combustíveis - SASC. Quando o posto não possui proteções contra essas emissões fugitivas, elas atingem flora, rios, lençóis freáticos etc. Além da contaminação dos recursos naturais, a perda por evaporação atinge as finanças do posto de combustível, tanto pelas multas geradas pelas contaminações, quanto pela perda de ativo, a própria gasolina GRID.

**Palavras-chaves:** Taxa de evaporação, gasolina GRID, emissões fugitivas, custos.



**21-25  
AGOSTO DE 2016  
FORTALEZA - CEARÁ**

## **TAXA DE EVAPORAÇÃO DO ÁLCOOL COMBUSTÍVEL EM TANQUES DE POSTOS DE COMBUSTÍVEIS: UMA AVALIAÇÃO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA.**

Thiago da Silva André, thiagoandrengmec@hotmail.com<sup>1</sup>  
Francisco de Assis Oliveira Fontes, francisfontes@uol.com.br<sup>2</sup>  
Ángelo Roncalli Oliveira Guerra, aroncalli@uol.com.br<sup>2</sup>  
Cleiton Rubens Formiga Barbosa, cleiton@ufrnet.br<sup>2</sup>  
Isaac Péricles Maia de Medeiros, isaacmedeiros.rn@gmail.com<sup>1</sup>  
Ramon Rudá Brito Medeiros, ramomruda@hotmail.com<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica/PPgEM - Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Caixa Postal 1524 - Campus Universitário Lagoa Nova, CEP 59078-970 | Natal/Rio Grande do Norte- Brasil.

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Mecânica/DEM, Laboratório de Energia da UFRN, Caixa Postal 1524 - Campus Universitário Lagoa Nova, CEP 59078-970 | Natal/Rio Grande do Norte- Brasil.

**Resumo:** O etanol combustível conhecido por ser um composto orgânico volátil apresenta, quando submetido a diferentes temperaturas, variações na sua taxa de evaporação, o que ocasiona liberação de vapor de etanol para a atmosfera, podendo contaminar solos, lençóis freáticos, vegetação entre outros. Em postos de combustíveis, esse vapor é liberado ao ambiente ou através das linhas de respiro ou no momento do abastecimento de veículos, são as chamadas emissões fugitivas. O presente estudo aponta que, quando um posto não possui os dispositivos de proteção adequados, pode chegar a perder, aproximadamente, por emissões fugitivas, 11 litros de etanol por hora, isso para um tanque subterrâneo de 5.000 litros de combustível a uma temperatura de 35°C. Este artigo mostrará os resultados de análises experimentais que mediram a taxa de evaporação do etanol, realizados em seis níveis de temperatura e uma análise de custos das perdas por evaporação, com aplicação em postos de combustíveis.

**Palavras-chave:** Taxa de evaporação, etanol, emissões fugitivas, custos.



## TAXA DE EVAPORAÇÃO DA GASOLINA COMUM EM TANQUES DE POSTOS DE COMBUSTÍVEIS: UMA AVALIAÇÃO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA.

Thiago da Silva André, thiagoandreengmec@hotmail.com<sup>1</sup>  
 Francisco de Assis Oliveira Fontes, franciscofontes@uol.com.br<sup>2</sup>  
 Ângelo Roncalli Oliveira Guerra, aroncalli@uol.com.br<sup>2</sup>  
 Cleiton Rubens Formiga Barbosa, cleiton@ufrnet.br<sup>2</sup>  
 Isaac Péricles Maia de Medeiros, isaacmedeiros.rn@gmail.com<sup>1</sup>  
 Ramon Rudá Brito Medeiros, ramomruda@hotmail.com<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica/PPgEM - Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Caixa Postal 1524 - Campus Universitário Lagoa Nova, CEP 59078-970 | Natal/Rio Grande do Norte- Brasil.

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Mecânica/DEM, Laboratório de Energia da UFRN, Caixa Postal 1524 - Campus Universitário Lagoa Nova, CEP 59078-970 | Natal/Rio Grande do Norte- Brasil.

**Resumo:** Este artigo é resultado de um estudo de análises experimentais que mediram a taxa de evaporação da gasolina comum, realizados para seis valores de temperaturas diferentes, seguido de uma análise de custos das perdas por evaporação, aplicada a tanques subterrâneos de postos de combustíveis. A gasolina comum é formada por uma variada quantidade de elementos químicos, dentre esses o compostos de nitrogênio, enxofre que destacam-se por sua volatilidade e, por isso, vapores desse combustível quando liberados para atmosfera podem causar danos ao meio ambiente. Em postos revendedores de combustíveis, esse vapor é liberado quando do abastecimento do veículo ou pelas linhas de respiro do Sistema de Abastecimento Subterrâneo de Combustíveis - SASC. Quando o posto não possui proteções contra essas emissões fugitivas, elas atingem flora, rios, lençóis freáticos etc. Além da contaminação dos recursos naturais, a perda por evaporação atinge as finanças do posto de combustível, tanto pelas multas geradas pelas contaminações, quanto pela perda de ativo, a própria gasolina comum.

**Palavras-chave:** Taxa de evaporação, gasolina comum, emissões.

## ESTUDO COMPARATIVO DA TAXA DE EVAPORAÇÃO DO ÁLCOOL COMBUSTÍVEL E DIESEL S10 EM TANQUES DE POSTOS DE COMBUSTÍVEIS: UMA AVALIAÇÃO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA

Thiago da Silva André<sup>1</sup>; Francisco de Assis Oliveira Fontes<sup>2</sup>; Ângelo Roncalli Oliveira Guerra<sup>3</sup>; Cleiton Rubens Formiga Barbosa<sup>4</sup>; Ramon Rudá Brito Medeiros<sup>5</sup>; Isaac Péricles Maia de Medeiros<sup>6</sup>; Paulo César Figueiredo Mendes<sup>7</sup>.

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Natal, Brasil thiagoandreengmec@hotmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Mecânica, Natal, Brasil francisconfontes@uol.com.br

<sup>3</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Mecânica, Natal, Brasil aroncalli@uol.com.br

<sup>4</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Mecânica, Natal, Brasil cleiton@ufrnet.br

<sup>5</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Natal, Brasil ramonruda@hotmail.com

<sup>6</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Natal, Brasil isaacmedeiros.rn@gmail.com

<sup>7</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Natal, Brasil, mendes.p2014@gmail.com

**Resumo** - Este artigo mostrará os resultados de análises experimentais que mediram a taxa de evaporação do álcool combustível e do óleo diesel S10, realizados em seis níveis de temperatura e uma análise de custos das perdas por evaporação, com aplicação em postos de serviço. Em postos de serviço esse vapor é liberado ao ambiente através das linhas de respiro ou no momento do abastecimento de veículos, são as chamadas emissões fugitivas que podem causar danos ao meio ambiente (poluição do solo, ar, lençóis freáticos, vegetação etc.). Além disto, o posto de combustível tanto sofre perda de ativos, os combustíveis, quanto pelas multas geradas pela contaminação. Com os resultados encontrados nesse estudo fica nítido a importância de implantar, no posto revendedor, medidas que minimizem ou eliminem as perdas por evaporação.

**Palavras-chave:** álcool combustível; diesel S10; taxa de evaporação, custos.

## ESTUDO COMPARATIVO DA TAXA DE EVAPORAÇÃO DA GASOLINA COMUM E GASOLINA GRID EM TANQUES DE POSTOS DE SERVIÇO: UMA AVALIAÇÃO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA

Thiago da Silva André<sup>1</sup>; Francisco de Assis Oliveira Fontes<sup>2</sup>; Ângelo Roncalli Oliveira Guerra<sup>3</sup>; Cleiton Rubens Formiga Barbosa<sup>4</sup>; Isaac Péricles Maia de Medeiros<sup>5</sup>; Paulo César Figueiredo Mendes<sup>6</sup>.

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Natal, Brasil thiagoandreengmec@hotmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Mecânica, Natal, Brasil francisfontes@uol.com.br

<sup>3</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Mecânica, Natal, Brasil aroncalli@uol.com.br

<sup>4</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Mecânica, Natal, Brasil cleiton@ufrnet.br

<sup>5</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Natal, Brasil isaacmedeiros.rn@gmail.com

<sup>6</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Natal, Brasil, mendes.p2014@gmail.com

**Resumo** - Este artigo é resultado de um estudo de análises experimentais que mediram a taxa de evaporação da gasolina comum e gasolina aditivada (GRID), realizados para seis valores de temperaturas diferentes, seguido de uma análise de custos das perdas por evaporação, aplicada a tanques subterrâneos de postos de combustíveis. Quando esses combustíveis liberam vapores à atmosfera podem causar danos ao meio ambiente. Em postos revendedores de combustíveis, esse vapor é liberado quando do abastecimento do veículo ou pelas linhas de respiro do Sistema de Abastecimento Subterrâneo de Combustíveis - SASC. Quando o posto não possui proteções contra essas emissões fugitivas, elas atingem flora, rios, lençóis freáticos etc. Além da contaminação dos recursos naturais, a perda por evaporação atinge as finanças do posto de combustível, tanto pelas multas geradas pelas contaminações, quanto pela perda de ativo, os combustíveis.

Palavras Chave – gasolina; GRID; taxa de evaporação, custos.

**Palavras-chave:** gasolina; GRID; taxa de evaporação, custos.



CIMCCO (CC0238)

## ESTUDO COMPARATIVO DA TAXA DE EVAPORAÇÃO DA GASOLINA COMUM E DO ÁLCOOL COMBUSTÍVEL EM TANQUES DE POSTOS DE COMBUSTÍVEIS: UMA AVALIAÇÃO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA

*Thiago da Silva André<sup>1</sup>  
Francisco de Assis Oliveira Fontes<sup>2</sup>  
Ângelo Roncalli Oliveira Guerra<sup>2</sup>  
Cleiton Rubens Formiga Barbosa<sup>2</sup>  
Eduardo Lins de Barros Neto<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Mecânica.

<sup>3</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Química.

**Resumo** - Este artigo é resultado de um estudo de análises experimentais que mediram a taxa de evaporação da gasolina comum e do álcool combustível, realizados para seis valores de temperaturas diferentes, seguido de uma análise de custos das perdas por evaporação, aplicada a tanques subterrâneos de postos de combustíveis. Quando esses combustíveis liberam vapores à atmosfera podem causar danos ao meio ambiente. Em postos revendedores de combustíveis, esse vapor é liberado quando do abastecimento do veículo ou pelas linhas de respiro do Sistema de Abastecimento Subterrâneo de Combustíveis - SASC. Quando o posto não possui proteções contra essas emissões fugitivas, elas atingem flora, rios, lençóis freáticos etc. Além da contaminação dos recursos naturais, a perda por evaporação atinge as finanças do posto de combustível, tanto pelas multas geradas pelas contaminações, quanto pela perda de ativo, os combustíveis.



## Estanqueidade de tanques de combustível devido à taxa de evaporação do Biodiesel B7

Thiago da Silva André (PPGEM/UFRN, thiagoandrengmec@hotmail.com), Francisco de Assis Oliveira Fontes (PPGEM/UFRN, francisfontes@uol.com.br), Cleiton Rubens Formiga Barbosa (PPGEM/UFRN, cleiton@ufrnet.br), Lúcio Ângelo de Oliveira Fontes (DEM/UFRN, lucio@dem.ufrn.br), Cleiton Rubens Formiga Barbosa Júnior (DEM/UFRN, cleitonformiga@gmail.com).

### 1 - Introdução

Derivado do petróleo, o óleo diesel é uma mistura de hidrocarbonetos (alcanos lineares e ramificados), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, HPA, (naftaleno, fenatreno, bezantraceno, bezapireno), nitrogênio, enxofre, oxigênio etc., esses em menores concentrações [1]

É o combustível mais comercializado no Brasil. O óleo diesel automotivo brasileiro tem em sua composição uma porcentagem de biodiesel na mistura, atualmente o valor corresponde a 7% do volume.

Este trabalho apresenta o estudo experimental das perdas por evaporação, e consequentemente estanqueidade do tanque de armazenamento de combustível, gerados pelo óleo diesel S10 Petrobras, em diferentes níveis térmicos, para um posto de serviço que não controla essas emissões.

### 2 - Material e Métodos

O combustível diesel S-10 é o diesel com teor de enxofre máximo de 10 mg/kg. Essa recomendação é um atendimento a legislação nacional, o PROCONVE, Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores.

O diesel S10 reduz a quantidade de enxofre em sua composição, contribuindo assim para uma menor emissão desse particulado e, por consequente, diminuição da fumaça branca.

O diesel S10 (Biodiesel B7) combustível é um composto orgânico volátil (COV), e como tal, apresenta em sua composição os compostos BTEX, prejudiciais a saúde humana (CLAXTON, 2014).

EDOKPOLO (2014) postula que a vaporização dentro postos de combustível são as principais fontes de benzeno na atmosfera nas proximidades.

O solo, vegetação e lençóis de água subterrânea também podem ser contaminados com vazamentos desse combustível, tanto na sua forma líquida, quanto na fase de vapor (ADAM, G.; DUNCAN, H.J., 2002).

As análises experimentais foram realizadas utilizando os seguintes equipamentos: balança digital, termômetro de mercúrio, provetas de 25 ml, suportes para fixação das provetas, base para fixação dos suportes e banho termostático.

Primeiramente o conjunto era montado de modo a manter a temperatura do experimento constante. Para isso a proveta era fixada por meios de suportes de modo a permanecer mergulhada (quase que por completa) no banho de água, promovido pelo banho termostático, fazendo assim tinha-se o combustível na temperatura desejada para ensaio.

Foram analisados seis diferentes níveis térmicos, a saber: 30 °C, 35 °C, 40 °C, 45 °C, 50 °C e 55 °C.

### 3 - Resultados e Discussão

São apresentados a seguir os resultados das análises experimentais para o Biodiesel B7. Os gráficos mostram o peso evaporado no decorrer do tempo e o percentual de volume evaporado.

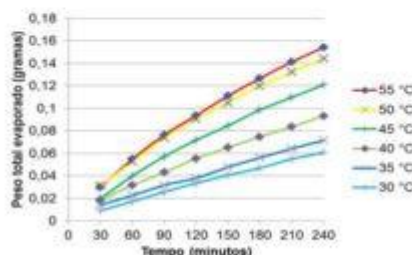


Figura 1. Peso total evaporado no decorrer de 4 horas. Biodiesel B7.

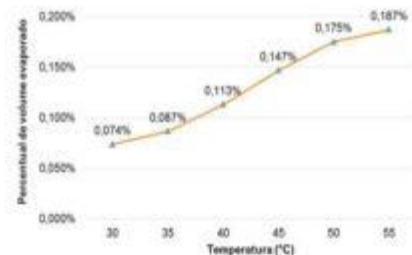


Figura 2. Percentual de volume evaporado. Biodiesel B7.

Em todas as temperaturas analisadas o percentual evaporado do diesel S10 está abaixo do recomendado pela legislação nacional, que é de 0,6 % do volume, conforme orienta a ABNT NBR 13787 (2013), portanto, as instalações são consideradas estanques.

Por ocorrer, potencialmente, uma perda financeira, foi realizada uma análise de custos das perdas por evaporação. Essa avaliação foi aplicada em um tanque de combustível subterrâneo - volume de controle -, com capacidade de 5.000 litros, pleno, local onde é armazenado o diesel S10.

Considerando para o diesel S10 um valor médio nacional de revenda de R\$ 3,151, as perdas potenciais evaporativas para o diesel S10 são, aproximadamente, 4 litros de combustível por hora; em valores pecuniários, R\$ 12,64 por hora.

### 4 - Conclusão

A taxa de evaporação do diesel S10, para temperaturas típicas (30 - 40 °C) do Nordeste Brasileiro, atende a norma ABNT NBR 13787 no que se refere à estanqueidade do combustível armazenado. Entretanto medidas mitigadoras contra essas emissões devem ser adotadas devido às perdas financeiras e a contaminação ambiental.