

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

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, thiagoandreengmec@hotmail.com¹
Francisco de Assis Oliveira Fontes, francisfontes@uol.com.br²
Ângelo Roncalli Oliveira Guerra, aroncalli@uol.com.br²
Cleiton Rubens Formiga Barbosa, cleiton@ufrnet.br²
Isaac Pércles Maia de Medeiros, isaacmedeiros.rn@gmail.com¹
Ramon Rudá Brito Medeiros, ramomruda@hotmail.com¹

¹Programa 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.

² 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.

1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação ambiental vem norteando o desenvolvimento tecnológico de muitos países. Antes visto como um fator facilmente descartado, hoje assume a preponderância que é devida.

Em vários setores da economia são observados o desenvolvimento sustentável não como alternativa, mas como obrigação imposta, se não pela consciência, mas pelas leis. E entre tantos locais que merecem essa prevenção ambiental, os pontos revendedores de combustíveis, por serem potencialmente poluidores do meio ambiente, merecem a devida atenção. (Ferreira; Silva; Lima, 2015).

Em particular o Sistema de Abastecimento Subterrâneo de Combustíveis - SASC – é objeto de estudo desse trabalho. Formado pelas linhas que ligam tanques as bombas de abastecimentos, tanques entre outros elementos será delimitado, para estudo, o tanque de combustível.

Além dos vazamentos possivelmente existentes em tanques de combustíveis, daí a relevância de periódicos testes de estanqueidade (Fontes *et al.*, 2015) os combustíveis armazenados neles podem contaminar o meio ambiente simplesmente por efeitos de evaporação, as chamadas emissões fugitivas.

Quando essas emissões são controladas contribui-se para um desenvolvimento econômico-sustentável do empreendimento, uma vez que combustível evaporado é combustível não vendido. Some-se a isto as possíveis multas, através dos passivos ambientais, geradas pela poluição/contaminação do meio ambiente (Dias *et al.*, 2012).

Este trabalho apresenta o valor das emissões por evaporação (realizadas de modo experimental), gerados pelo etanol combustível, em diferentes níveis térmicos, seguido de uma análise de custos das consequências financeiras para o posto revendedor do não controle dessas emissões.

2. ETANOL COMBUSTÍVEL PETROBRAS

Neste trabalho, para estudo da taxa de evaporação e, por conseguinte análise termoeconômica, tem-se o etanol hidratado combustível (EHC), ou simplesmente etanol ou álcool combustível, como objeto de estudo.

Obtido a partir da fermentação do açúcar, o etanol é um combustível ecologicamente correto, 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 (Scandiffio *et al.*, 2005).

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 puro, caracterizado por poder ser utilizado diretamente no motor e ser higroscópico, misturando-se, em qualquer proporção, com água (Moraes, 1980).

A seguir a Tab. 1 apresenta as principais propriedades do EHC.

Tabela 1. Propriedades físico-químicas do Etanol combustível. Fonte: FISPQ

ASPECTO (ESTADO FÍSICO, FORMA E COR)	LÍQUIDO LÍMPIDO E INCOLOR.
Odor e limite de odor	Característico. Limite de odor: 180 ppm
pH	6,0 - 8,0
Ponto de fusão/ponto de congelamento	-117 °C
Ponto de ebulição inicial e faixa de temperatura de ebulição	77 °C
Ponto de fulgor	15°C (vaso fechado)
Taxa de evaporação	Não disponível.
Inflamabilidade (sólido e gás)	Produto inflamável.
Pressão de vapor	5,8 kPa a 20°C
Densidade de vapor	1,6 (ar = 1)
Densidade relativa	0,8 (água a 4°C = 1)
Solubilidade	Não disponível
Coefficiente de partição – noctanol/água	Log kow: -0,32
Temperatura de auto-ignição	363 °C
Temperatura de decomposição	Não disponível
Viscosidade	1,20 cP à 20°C
Outras informações	Não aplicável.

3. METODOLOGIA

3.1 Análise Experimental

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.

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 álcool combustível e eram colocadas no mesmo tempo.

Foram analisados seis diferentes níveis térmicos, a saber: 30 °C, 35 °C, 40 °C, 45 °C, 50 °C e 55 °C. Os ensaios eram procedidos observando a sequência abaixo:

- 25 ml de álcool combustível eram colocados na proveta;
- Esse conjunto era pesado na balança digital;
- Em seguida, a proveta com o álcool era colocada no banho termostático até atingir a temperatura desejada;
- Quando atingida a temperatura, era retirado o conjunto e, novamente, pesado. Após a segunda pesagem, já com o combustível na temperatura a ser analisada, era iniciado o tempo do ensaio.

Convém ressaltar que a primeira pesagem era necessária para que fosse calculada a quantidade evaporada durante o aquecimento do combustível até a temperatura de ensaio. Após isto, o valor tomado servia de referência (ponto de partida) para cálculos da taxa de evaporação.

O tempo total de realização de cada ensaio foi de 4 horas, isto para cada nível térmico. A cada meia hora o combustível era pesado e foi procedido assim para que os gráficos da taxa de evaporação mostrassem mais pontos, ou seja, fossem mais detalhados.

3.2 Equações

O valor de referência era o peso inicial, o peso do conjunto proveta mais álcool combustível, valor este obtido após a primeira pesagem, quando o combustível encontrava-se na temperatura desejada.

De posse do valor inicial, a cada meia hora era obtido, por meio de pesagem, os valores do peso evaporado parcial (α_i). O valor de α_1 era resultado da subtração com o valor inicial; α_2 era resultado da subtração com α_1 na meia hora seguinte e assim as taxas de evaporação parciais (α_i) foram alcançadas.

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

$$\alpha_{média} = \frac{\sum_1^8 \alpha_i}{4 \text{ horas}} \quad (1)$$

Na equação (1), α_i é dado em gramas. Como o objetivo era expressar a taxa de evaporação por unidade de hora, no denominador aparece o número quatro que é resultado das oito pesagens, realizadas de meia em meia hora. A porcentagem de volume vaporado (β) foi obtida com a Eq. (2).

$$\beta = \left(\frac{\alpha_{média}}{\delta\alpha - \delta\theta} \right) \times 100\% \quad (2)$$

Onde $\delta\alpha$ é o peso do conjunto proveta mais o álcool combustível (valor de referência) e $\delta\theta$ é o peso da proveta sem o combustível.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são apresentados aos resultados das análises experimentais para o EHC da Petrobras. Para cada nível térmico dois gráficos foram construídos: a taxa de evaporação (grama/hora) e o peso total evaporado no decorrer do tempo

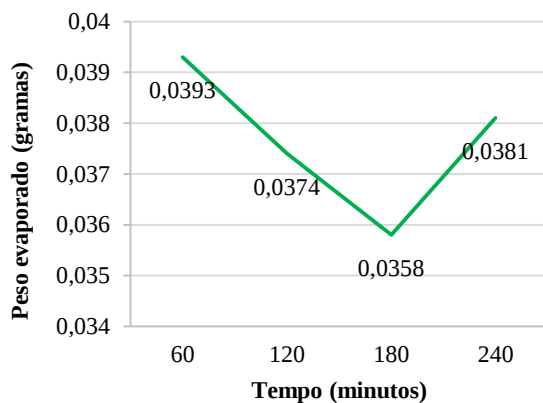


Figura 1. Taxa de evaporação (grama/hora). Etanol combustível a T=30 °C.

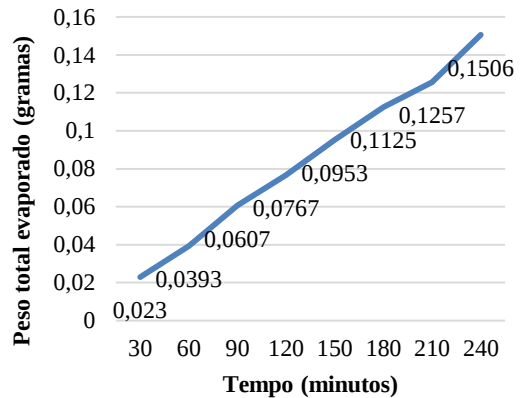
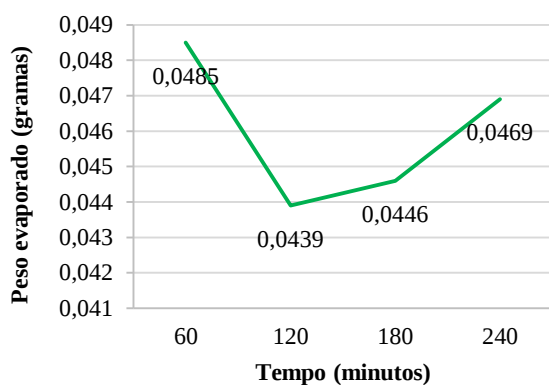
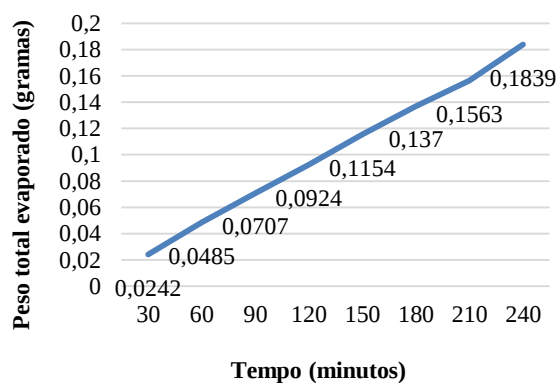


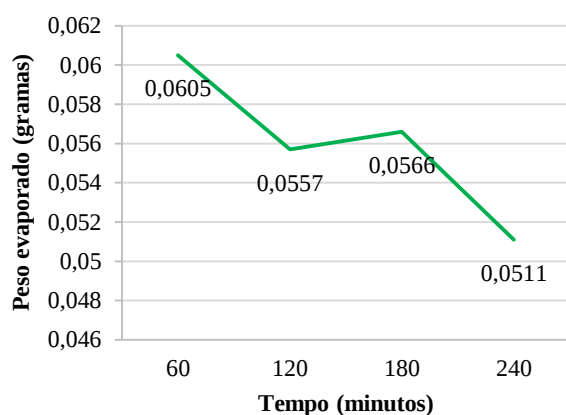
Figura 2. Peso total evaporado no decorrer do tempo. Etanol combustível a T=30 °C.



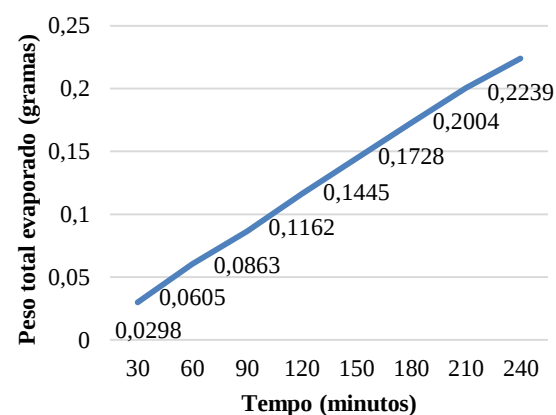
**Figura 3. Taxa de evaporação (grama/hora).
Etanol combustível a T=35 °C.**



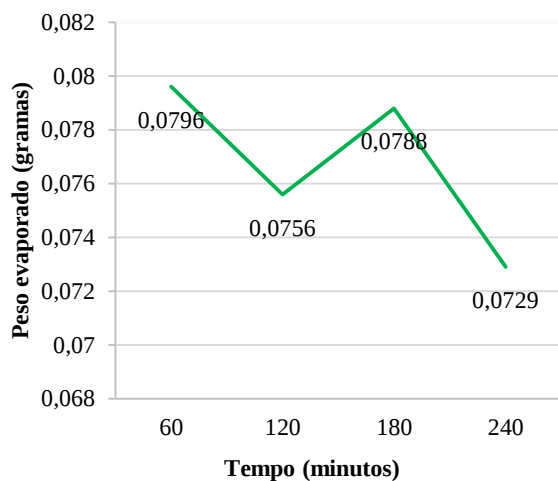
**Figura 4. Peso total evaporado no decorrer do
tempo. Etanol combustível a T=35 °C.**



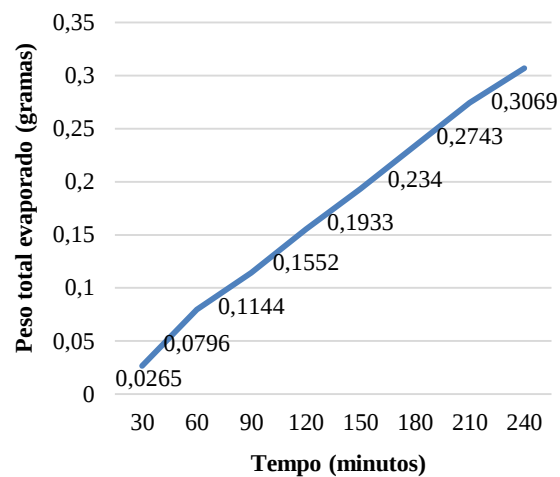
**Figura 5. Taxa de evaporação (grama/hora).
Etanol combustível a T=40 °C.**



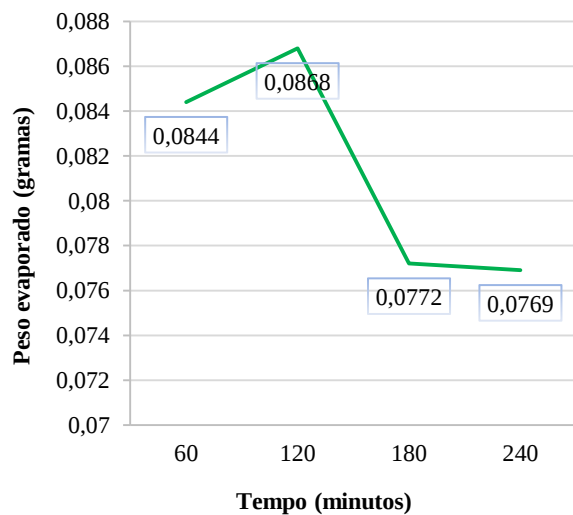
**Figura 6. Peso total evaporado no decorrer do
tempo. Etanol combustível a T=40 °C.**



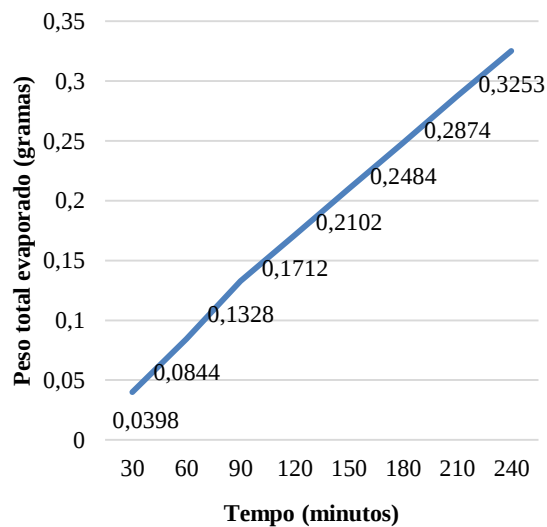
**Figura 7. Taxa de evaporação (grama/hora).
Etanol combustível a T= 45 °C.**



**Figura 8. Peso total evaporado no decorrer do
tempo. Etanol combustível a T= 45 °C.**



**Figura 9. Taxa de evaporação (grama/hora).
Etanol combustível a T= 50 °C.**



**Figura 10. Peso total evaporado no decorrer do
tempo. Etanol combustível a T= 50 °C.**

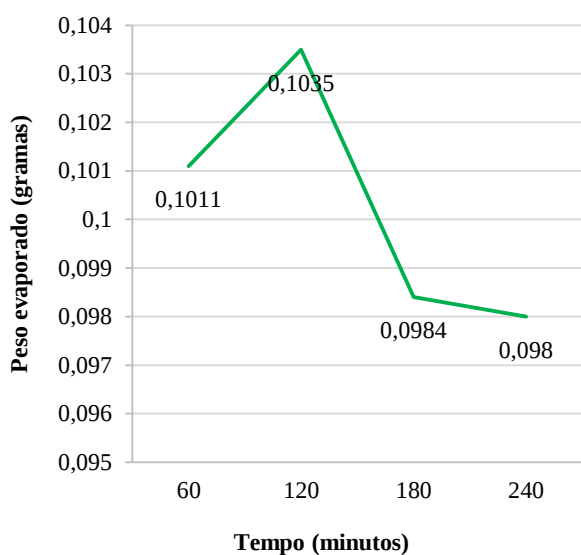


Figura 11. Taxa de evaporação (grama/hora). Etanol combustível a T= 55 °C.

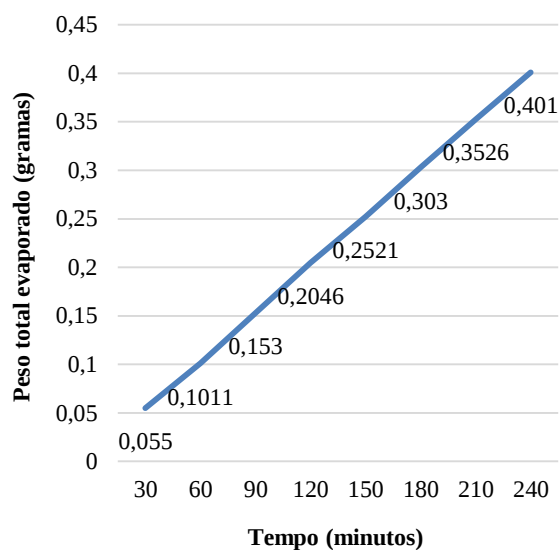


Figura 12. Peso total evaporado no decorrer do tempo. Etanol combustível a T= 55 °C.

A taxa de evaporação e o peso total evaporado para o etanol combustível são diretamente proporcionais a temperatura, fato esse facilmente observável nos gráficos acima.

É observável que a taxa de evaporação (grama/hora) varia com o decorrer do tempo, ora está maior, ora menor, ora praticamente não muda, este comportamento é verificável em todas as temperaturas estudadas.

Após os dados levantados neste estudo, é possível construir dois gráficos: um que apresente a taxa de evaporação média em grama/hora (para cada temperatura) e outro que represente o percentual médio de volume evaporado por hora em função da temperatura.

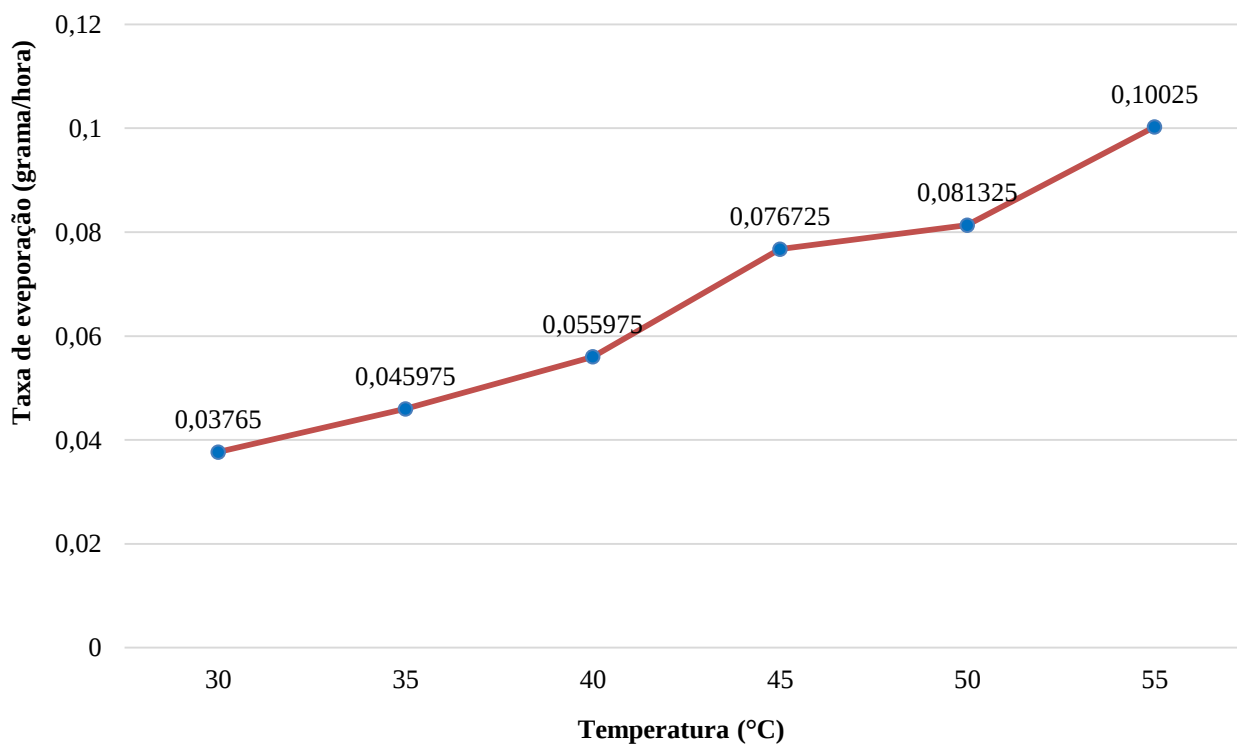


Figura 13. Taxa de evaporação média (grama/hora). Etanol combustível.

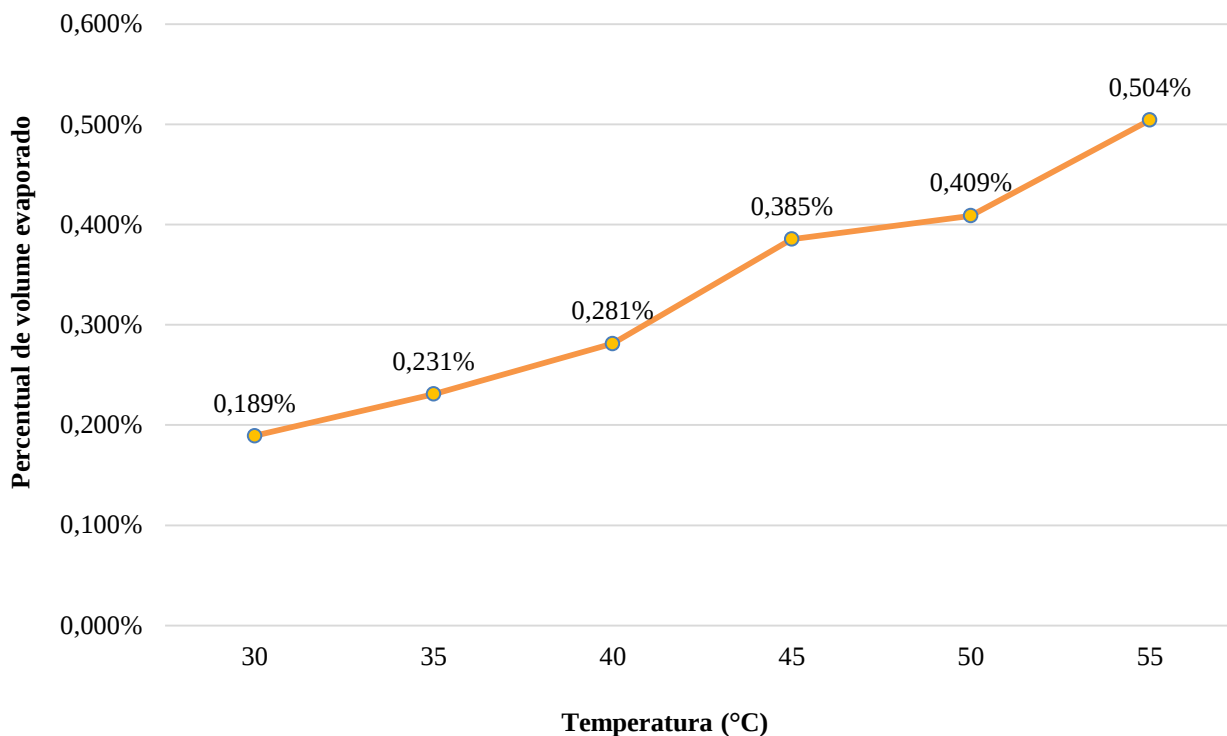


Figura 14. Percentual (médio) por hora de volume evaporado em função da temperatura. Etanol combustível.

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\$ 2,864 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 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\$32,94 por hora.

O valor máximo obtido como percentual médio evaporado foi de 0,504 % do volume inicial, o que, de acordo com a ABNT NBR 13787 (1997) - Controle de estoque de sistemas de armazenamento subterrâneo de combustíveis (SASC) - o tanque subterrâneo está enquadrado como 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.

5. CONCLUSÃO

A contaminação do meio ambiente, lençóis freáticos, plantas, animais, pessoas que trabalham diretamente ou moram na vizinhança podem sofrer com as emissões de combustível (Oliveira *et al.*, 2008).

Válvulas de pressão e vácuo minimizam esses problemas, tanto do ponto de vista da fuga dos vapores, quanto do econômico, uma vez que mantendo esses vapores no SASC, o mesmo condensa quando da diminuição da temperatura, atenuando dessa forma essas emissões fugitivas.

Alternativa é o uso de sistemas de recuperação de vapor, técnica já consagrada em outras partes do mundo, porém pouco difundida aqui no Brasil, devido, principalmente, aos altos custos necessários para implantação.

Outro fator a destacar é a perda de dinheiro por parte do empreendedor. Combustível evaporado é ativo perdido. O investimento em sistemas de proteção ambiental podem até parecer desvantajoso a princípio, mas, claramente, é retornável.

Alguns postos até controlam suas emissões, e isso se dá devido à força de lei, conforme modelo adotado no Estado do Rio Grande do Norte - RN com o Projeto Selo Verde (Dias *et al.*, 2012). Entretanto e nos estados onde isso não acontece, ficará o meio ambiente a mercê da boa vontade dos donos dos postos.

Recomenda-se a implantação de uma lei nacional, aplicada a postos revendedores de combustíveis, em que os dispositivos de proteção ambiental tenham destaque e sejam bem explicitados. Pode-se, por outro lado, reforçar a aplicação da Norma Regulamentadora (NR) n.º 20 do Ministério do Trabalho e Emprego, que trata do trabalho seguro com inflamáveis, abarcando, portanto, as atividades e instalações dos postos de combustíveis.

Além disso, fomentar o estudo do desenvolvimento de tecnologias brasileiras quanto a técnicas de recuperação de vapor.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES e a UFRN (Universidade Federal do Rio Grande do Norte) pelo suporte financeiro concedido a esta pesquisa.

7. REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13784: Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Procedimento de controle de estoque dos sistemas de armazenamento subterrâneo de combustíveis (SASC). Rio de Janeiro, 2013.
- 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. DA M. "Adequação Ambiental". Ministério Público do Estado do Rio Grande do Norte, v. 1, p. 169, 2012.
- 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.
- 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. "Análise da Perda de Vácuo em Testes de Estandarização de Posto de Combustível: NBR-13784 (revisão 2014)". VIII Congresso Brasileiro de Termodinâmica, v. 1, p. 9, 2015.
- Oliveira, V. B. P. D. L. G. A. D. N. Estratégias ambientais em postos de combustíveis: O caso de Posto de combustível ecológico. IV Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Anais...2008
- Scandiffio, M. I. G. "Análise Prospectiva do Álcool Combustível no Brasil - Cenários 2004-2024". p. 201, 2005.
- Petrobras Distribuidora S.A. "Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico – FISPQ. Etanol Hidratado Combustível". Nº FISPQ: BR0020 v. 6, 2015.
- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP. Disponível em <http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo_Mensal_Combustiveis.asp>. Acesso: 26 mar. 2016.

8. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluídos no seu trabalho.

EVAPORATION RATE OF FUEL ETHANOL IN TANKS OF FUEL STATIONS: AN EVALUATION ON FUNCTION OF TEMPERATURE.

Thiago da Silva André, thiagoandreengmec@hotmail.com¹
Francisco de Assis Oliveira Fontes, franciscofontes@uol.com.br²
Ângelo Roncalli Oliveira Guerra, aroncalli@uol.com.br²
Cleiton Rubens Formiga Barbosa, cleiton@ufrnet.br²
Isaac Pércles Maia de Medeiros, isaacmedeiros.rn@gmail.com¹
Ramon Rudá Brito Medeiros, ramomruda@hotmail.com¹

¹ 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.

² 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.

Abstract. The fuel ethanol known as a volatile organic compound presents, when subjected to different temperatures, variations in the rate of evaporation, which causes release of ethanol vapor into the atmosphere, and can contaminate soil, groundwater, vegetation, among others. In gas stations, that steam is released to the environment or through the vent lines or at the time of the supply of vehicles, are called fugitive emissions. This study points out that, when a post does not have the appropriate protection devices, can get to lose approximately for fugitive emissions, 11 liters of ethanol per hour, that for an underground tank 5000 litres of fuel at a temperature of 35° C. This article will show the results of experimental tests that measured the rate of evaporation of ethanol, made conducted in six levels of temperature and a cost analysis of the evaporative losses, with application in gas stations.

Keywords: Evaporation rate, ethanol, fugitive emissions, cost.