

ESTUDO DAS INFLUÊNCIAS DE COMBUSTÍVEIS ADULTERADOS EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA CICLO OTTO E METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO PARA O FUNCIONAMENTO DE UM DETECTOR DE ADULTERAÇÃO EM COMBUSTÍVEIS

Breno Avelar Mendonça¹; Andressa Giarola Alves²

1 Breno Avelar Mendonça, Bolsista (IFMG), Engenharia Mecânica, IFMG Campus Avançado Arcos, Arcos - MG; brenox110@gmail.com

4 Andressa Giarola Alves: Pesquisador do IFMG, Campus Arcos; andressa.alves@ifmg.edu.br

Palavras-chave: combustível; adulterado; dispositivo; detector

Área de conhecimento conforme tabela do CNPq: Engenharias

RESUMO

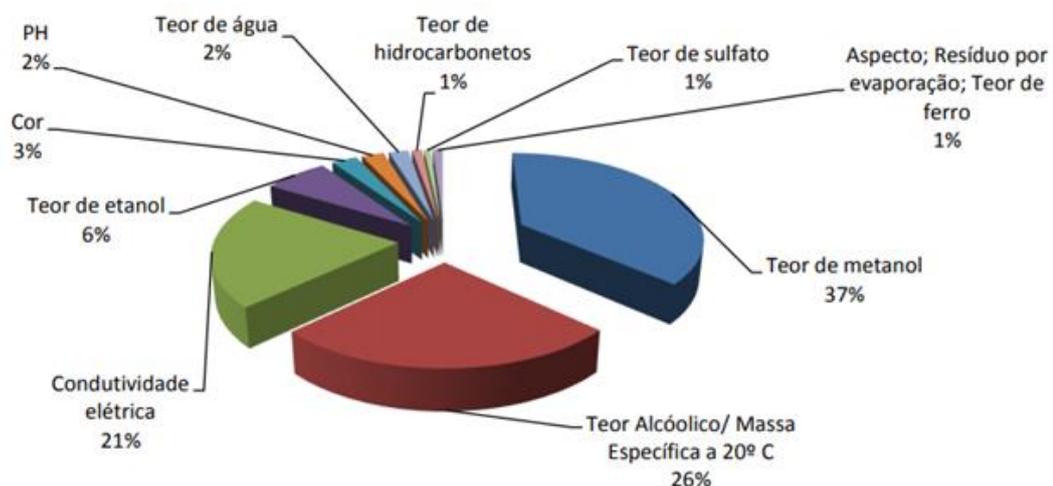
No Brasil, embora a fiscalização dos postos de abastecimento pela ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) seja frequente, ainda existem casos de adulteração nos combustíveis (gasolina e etanol). Nesse contexto, nota-se, nos motores de veículos leves, que quando os combustíveis são submetidos às substâncias adulterantes, os mesmos realizam a queima incompleta de tal combustível, produzindo gases tóxicos que são prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana. Além disso, estes tipos de combustíveis causam danos mecânicos aos motores dos automóveis. Nesse contexto, este projeto de pesquisa apresentou os seguintes objetivos: estudar e identificar os problemas que podem ocorrer durante a combustão interna de motores de veículos leves por causa da queima incompleta de combustível adulterado, o que torna tal combustível mais poluente. Com base nesse estudo, foi construída uma metodologia de desenvolvimento para o funcionamento de um dispositivo identificador de fraude em combustíveis. Esta metodologia esteve pautada no estudo de parâmetros físico-químicos que indicam adulteração, tais como condutividade elétrica, densidade, viscosidade, índice de refração e PH. A metodologia consistiu em exaustivos testes realizados no laboratório (Laboratório de Tecnologia do Instituto Superior de Engenharia do Porto), e tiveram como objetivo verificar tanto a adulteração da gasolina comum (Tipo C) através da adição de álcool etílico anidro combustível (AEAC), como também a adulteração sofrida pelo AEAC, por meio da adição de água acima dos máximos permitidos por lei, para vender este último como se fosse álcool etílico hidratado combustível (AEHC). A condutividade elétrica foi o parâmetro capaz de indicar (com valores precisos) a capacidade do combustível em conduzir corrente elétrica por meio dos íons presentes em sua solução. Então, o desenvolvimento de um dispositivo prático, o qual seja capaz de quantificar a condutividade elétrica, tem como objetivo futuro integrá-lo a um sistema *on board* de um veículo. Por isso, dentre todos os parâmetros aqui analisados, este foi o escolhido para apresentar uma suposta metodologia de desenvolvimento para um sensor detector de combustíveis adulterados. Como proposta para trabalhos futuros, foi proposto um modelo de prototipagem, o qual possui como objetivo identificar as características de combustíveis de boa qualidade, como por exemplo a constante dielétrica consoante a sua composição, e padronizá-las, para posteriormente realizar o reconhecimento de combustíveis adulterados. Foi feita uma simulação computacional através de um *software* chamado Tinkercad. Esse *software* consiste basicamente em uma plataforma online e gratuita, onde é possível criar e

programar circuitos elétricos de maneira didática e testando a funcionalidade de cada componente. Por fim, foi utilizado uma placa de Arduino UNO R3 para demonstrar o funcionamento do sensor.

INTRODUÇÃO

No Brasil, observa-se a prática de adulteração de combustíveis nos locais de abastecimento (ANP, 2017). Embora haja fiscalização, essa prática é observada por vários consumidores, que após algum período de tempo, notam falhas no funcionamento de seus automóveis. Uma adulteração comum é comercializar, no lugar do etanol hidratado (o combustível correto), uma mistura de etanol hidratado com etanol anidro (aquele que é misturado à gasolina, de cor alaranjada). Ou pior, uma mistura do etanol anidro com água, o chamado "álcool molhado" (iCarros, 2017). Segundo o balanço anual de 2017 sobre a fiscalização do abastecimento no Brasil, levantado pela ANP, dentre os produtos fiscalizados, o etanol hidratado foi aquele que registrou o maior número de não conformidades, sendo um dos principais motivos das irregularidades a condutividade elétrica da amostra, conforme apresentado no gráfico 1. Com isso, um dos objetivos específicos deste projeto consistiu em verificar a influência da condutividade elétrica como um dos parâmetros para detectar combustível adulterado, seguindo a norma NBR – 10547.

Gráfico 1 – Distribuição percentual das irregularidades verificadas nas amostras de etanol hidratado não conformes com a especificação



Fonte: Dados do SIGI-WEB em 15/01/2018. Elaboração ANP. Balanço Anual 2017.

A princípio, foi feita uma revisão bibliográfica de alguns artigos científicos que já trataram sobre o mesmo assunto que esta pesquisa propôs a ser trabalhada, como: “*Micro-Sensor Capacitivo para a Avaliação da Qualidade de Combustíveis Automotivos*” (Mendonça, 2008), que contribuiu para a construção de uma metodologia de desenvolvimento para o funcionamento de um sensor identificador de fraude em combustíveis. “*Influência da Composição do Combustível em Motores de Combustão Interna*” (Nunes, 2013), que permitiu investigar as características da combustão de combustíveis com diferentes níveis de substâncias adulterantes.

Alguns conceitos são fundamentais para o entendimento da proposta de desenvolvimento desse projeto de pesquisa. Assim, para maior compreensão do estudo realizado sobre o sensor, é fundamental conhecer as definições de “Capacitância” e “Capacitores”.

Capacitância é a medida da capacidade de armazenar energia de um dado capacitor. O valor da capacitância é a razão entre o módulo da carga de cada condutor e a diferença de potencial entre os condutores (FREEDMAN, 2016).

Segundo HALLIDAY (2003) “[...] um capacitor é qualquer par de condutores separados por uma placa plástica (dielétrico) que funciona como isolante entre duas folhas condutoras, sendo que o valor da capacitância está diretamente relacionado com as dimensões desta placa”. Outro fator que deve ser considerado é a permissividade (ϵ) do dielétrico, que trata da grandeza que relaciona o aumento da capacitância por um valor K (FREEDMAN, 2016), segundo a relação a seguir:

$$\epsilon = K \cdot \epsilon_0$$

Portanto, pôde se concluir que a capacitância varia linearmente com a permissividade elétrica do meio. Dessa forma, se os diferentes tipos de combustíveis forem imersos em substâncias que apresentam valores de permissividade diferentes, então é possível detectar a porcentagem de adulterantes que foram adicionados.

Dessa forma, este projeto de pesquisa teve por objetivo compreender, através de um estudo sistemático, o funcionamento de um dispositivo detector de adulteração em combustíveis, a fim de contribuir para a diminuição de danos causados à sociedade, em relação aos aspectos socioeconômicos, ambientais e tecnológicos.

METODOLOGIA

A metodologia empregada neste projeto de pesquisa consistiu, a princípio, na realização de um estudo sobre *Capacitores e Capacitância, Dielétricos, Sensores Capacitivos, Campo Elétrico, Fluxo Elétrico, Lei de Gauss, Permissividade Elétrica, Condutividade e Ph*. Em seguida, baseou-se nos parâmetros que supostamente detectam adulteração nos combustíveis de veículos leves, tais como a densidade, viscosidade, corrosão ao cobre, condutividade, PH e índice de refração. Os testes foram analisados, em laboratório (Laboratório de tecnologia do ISEP), e tiveram como objetivo verificar tanto a adulteração da gasolina comum (Tipo C) através da adição de álcool etílico anidro combustível (AEAC), como também a adulteração sofrida pelo AEAC, por meio da adição de água acima dos máximos permitidos por lei, para vender este último como se fosse álcool etílico hidratado combustível (AEHC), aquele que é comprado diretamente nas bombas dos postos de combustíveis. A Figura 1 ilustra as amostras coletadas e os reagentes envolvidos.

Figura 1 - Amostras coletadas e reagentes envolvidos



Próprio autor. Foto retirada no Laboratório de Tecnologia do ISEP em 03/04/2019

Além disso, foram feitas algumas pesquisas de campo e visitas técnicas em postos de abastecimento (Figura 2), onde foram coletadas algumas amostras de etanol, as quais foram submetidas ao processo de adulteração por meio da adição de água. Em seguida, as amostras foram encaminhadas para o laboratório, onde foi incidido um feixe de luz sobre as mesmas, a fim de monitorar os diferentes índices de refração, variando os níveis de substâncias adulterantes. Os resultados obtidos foram reproduzidos em um *software* (Image J), a fim de apontar os diferentes ângulos de refração obtidos. Esses por sua vez, foram transmitidos em um programa computacional (Octave), onde foram reproduzidas as curvas para análise comparativas de adulterações.

Para realizar a verificação das influências dos parâmetros físico-químicos nas amostras de combustíveis, a fim de constatar se os mesmos estavam de acordo com as normas exigidas, foram utilizadas diferentes metodologias de testes. Os métodos foram realizados de acordo com as Normas Brasileiras (NBR) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Figura 2 - Posto de combustível de coleta das amostras



Fonte: Próprio autor. Foto retirada em Porto-Portugal em 03/04/2019

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através do estudo sistemático realizado em torno dos conceitos destacados na *Metodologia* e do levantamento bibliográfico, foi possível compreender que a *Capacitância* varia linearmente com a *Permissividade Elétrica* do meio (HALLIDAY, 2003). Dessa forma, se os diferentes tipos de combustíveis forem imersos em substâncias que apresentam valores de permissividade diferentes, é possível detectar a porcentagem de adulterantes que foram adicionados.

Como o sensor capacitivo trata-se de um sensor de proximidade que permite a detecção, sem o contato físico, de qualquer tipo de material, inclusive objetos não metálicos, ele opera como um capacitor de acordo com a distância dele em relação ao material (SILVEIRA, 2016). Assim, este tipo de sensor pode ser utilizado com a finalidade de indicar a permissividade elétrica do meio (constante física que relaciona a interação entre o campo elétrico e o meio). Além disso, a vantagem em se utilizar estes tipos de sensores consiste no fato de que eles não são compostos por materiais que apresentam um desgaste excessivo.

Além disso, o Regulamento Técnico ANP nº 3/2011 especifica um limite máximo para a condutividade elétrica do álcool etílico hidratado combustível (AEHC) a 25° C de 350 $\mu\text{S}/\text{m}$. A máxima concentração de água, permitida por lei, na mistura é de 4,9% (v/v). A amostra com 3,2% apresentou-se abaixo do limite máximo, enquanto que a amostra com 5,2% apresentou-se acima desse limite, o que leva a acreditar que este parâmetro é eficiente e preciso para detectar adulterações desse gênero. Para confirmar se este parâmetro é realmente relevante nesse contexto, foi medido a condutividade elétrica de uma amostra de AEHC com 4,9% de água. Essa amostra apresentou um valor de condutividade de 348 $\mu\text{S}/\text{m}$, ou seja, bem próximo do máximo previsto pela lei (350 $\mu\text{S}/\text{m}$). Assim pode-se concluir que este parâmetro tem altíssimo potencial para detectar esse tipo de adulteração com precisão.

Por fim, entende-se que este parâmetro é capaz de indicar (com valores precisos) a capacidade do combustível em conduzir corrente elétrica por meio dos íons presentes em sua solução. Então há uma grande possibilidade de desenvolver um dispositivo prático, o qual seja capaz de quantificar a condutividade elétrica, e integrá-lo a um sistema *on board* de um veículo. Por isso, dentre todos os parâmetros aqui analisados, este foi o escolhido para apresentar uma suposta metodologia de desenvolvimento para um sensor detector de combustíveis adulterados.

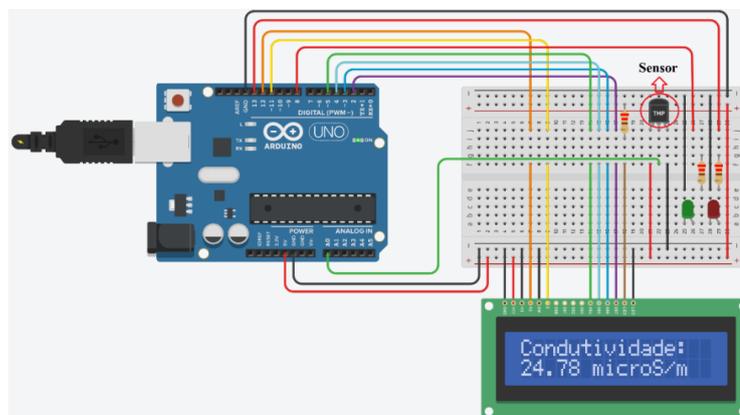
CONCLUSÕES

Como proposta para trabalhos futuros, na continuação desta pesquisa, foi proposto um modelo de prototipagem, o qual possui como objetivo identificar as características de combustíveis de boa qualidade, como por exemplo a constante dielétrica consoante a sua composição, e padronizá-las, para posteriormente realizar o reconhecimento de combustíveis adulterados.

Para efeito de simulação, a fim de verificar se realmente o circuito iria funcionar e assim evitar gastos desnecessários, foi feita uma simulação computacional (Figura 3) através de um *software* chamado Tinkercad. Esse *software* consiste basicamente em uma plataforma online e gratuita, onde é possível criar e programar circuitos elétricos de maneira didática e testando a funcionalidade de cada componente.

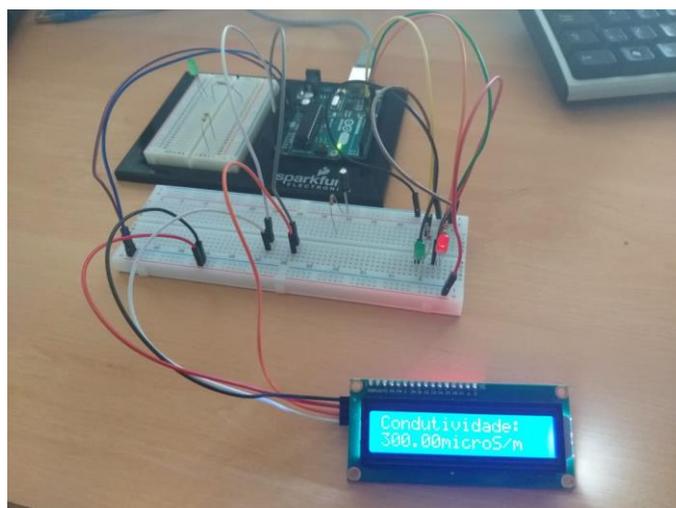
Uma limitação desse *software* trata-se da variedade de componentes disponíveis, que apresenta certa quantidade limitada para os mesmos. Assim sendo, na Figura 3 pode-se notar que foi usado um sensor de temperatura para simular os valores, mas na prática, naquele ponto da *Breadboard* poderá ser incorporado tanto o sensor eletro-resistivo (sensor de condutividade - Proposta II), como também o sensor capacitivo (Proposta I). A Figura 4 apresenta o protótipo desenvolvido neste projeto de pesquisa.

Figura 3 - Simulação do circuito em *software* computacional (Tinkercad)



Fonte: Elaboração - próprio autor

Figura 4 – Protótipo desenvolvido nesta pesquisa



Fonte: Elaboração - próprio autor

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Fiscalização do Abastecimento em Notícias**. 2017. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/images/publicacoes/boletins-anp/Boletim_Fiscalizacao_do_Abastecimento_em_Noticias/Boletim_Fiscalizacao_do_Abastecimento_em_Noticias_No13-2017.pdf>. Acesso em: 27 de Junho de 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10547**: Etanol Combustível - Determinação da condutividade elétrica. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10891**: Etanol hidratado combustível – Determinação do ph – Método potenciométrico. Rio de Janeiro, 2017.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; KRANE, K. S. **Física 3**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

ICARROS. **Combustível Adulterado: como identificar e se proteger**. 2017. Disponível em: <<https://www.icarros.com.br/noticias/geral/combustivel-adulterado:-como-identificar-e-se-proteger/22195.html>>. Acesso em 01 de Julho de 2018.

MENDONÇA, L. G. D. **Micro-Sensor Capacitivo para a Avaliação da Qualidade de Combustíveis Automotivos**. 2008. 115f. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

NUNES, P. C. **Influência da Composição do Combustível em Motores de Combustão Interna**. 2013. 13f. Trabalho de Conclusão de Curso – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

SILVEIRA, C. **Sensor Capacitivo: O que é e como funciona?**. 2016. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/sensor-capacitivo/>>. Acesso em: 25 de Junho de 2018.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física III: Eletromagnetismo**. 14. ed. São Paulo: Pearson, 2016.

Participação em Congressos, publicações e/ou pedidos de proteção intelectual

Este projeto de pesquisa foi desenvolvido no Instituto Superior de Engenharia do Porto através do programa *Internacionaliza* (2019). O mesmo foi apresentado na forma de pôster no I Congresso de Pesquisa e Inovação do Sudeste (CONPISUD), evento que ocorreu de 08 a 10 de maio de 2018 na cidade de São João da Barra – RJ e também foi exposto na FINIT (Feira Internacional de Negócios, Inovação e Tecnologia) ocorrido em 31 de outubro de 2017 em Belo Horizonte.