

MEDIÇÃO INTERFEROMÉTRICA DO ÍNDICE DE REFRAÇÃO DE GASES

Tallyson Gomes Rodrigues ¹, Francisco Tadeu Degasperri ², Eduardo Acedo Barbosa ^{1,2}

¹Centro Universitário da FEI

² Departamento de Ensino Geral, Faculdade de Tecnologia de São Paulo
tallyson.grodrigues@outlook.com, ftd@fatecsp.br e ebarbosa@fatecsp.br

Resumo: neste trabalho foi construído e desenvolvido um sistema optoeletrônico para a contagem do número de máximos de interferência no interferômetro de Michelson, visando obter a medida de índices de refração de gases e líquidos. Em medidas preliminares, para fins de calibração e aferição, mediu-se o índice de refração do ar atmosféricos para três comprimentos de onda. Tal estudo busca ainda contribuir na análise de gases subprodutos da queima de combustíveis para o projeto “Eficiência Energética em Motores Flex com Enriquecimento de Hidrogênio Obtido por Reforma Catalítica Embarcada” do programa Rota 2030 da FEI.

1. Introdução

O estudo dos combustíveis automotivos é extremamente necessário e essencial para avaliar a sua produção, qualidade e eficiência, visando saber se tais produtos estão de acordo com as normas regulatórias para seu devido uso. Uma das técnicas para avaliar esses aspectos é a medida de índice de refração de gases, que tem desempenhado um papel cada vez mais relevante, por aliar simplicidade, baixo custo e confiabilidade, fazendo da refratometria de líquidos uma ferramenta amplamente utilizada.

A interferometria é a forma mais eficaz e precisa medir índices de refração de gases. Interferômetros de Mach-Zehnder, Michelson e Fabry-Perot têm sido utilizados há décadas para este fim, e podem ser muito úteis para a determinação dos componentes de uma mistura gasosa.

Com isso, este trabalho desenvolveu e construiu um sistema eletrônico que para a contagem do número de máximos (ou mínimos) de interferência a fim de se obter o índice de refração do gás puro ou de uma mistura gasosa. Testes foram feitos com a contagem de pulsos gerados por um laser de diodo controlado por um sinal periódico, e medidas do índice de refração do ar foram efetuadas.

2. Dispersão de um gás

À medida que a luz se propaga de um meio para outro, sua velocidade tende a aumentar ou diminuir devido às diversas diferenças de estruturas atômicas das duas substâncias, ou de suas densidades ópticas ou índices de refração. A razão entre a velocidade da luz c no vácuo e a velocidade é o índice de refração absoluto de um meio, dado por $n = c/v$ [1]. Na análise da dispersão refrativa de um meio gasoso, despreza-se a interação mútua entre as partículas na interação da radiação eletromagnética de frequência angular ω com nuvens eletrônicas de átomos que compõem o meio. As forças entre as cargas e o

núcleo atômico produzidas pelo campo elétrico compõem um sistema análogo a um oscilador amortecido. Se ω_{0i} é a frequência natural da i -ésima partícula, o índice de refração do gás será dado por

$$n = 1 + \frac{Ne^2}{2m\epsilon_0} \sum_i \frac{f_i}{\omega_{0i}^2 - \omega^2} = N\alpha \quad (1)$$

Na equação (1) acima, m é a massa do elétron, e é a sua carga e N é o número de átomos por unidade de volume. O fator f_i é a chamada força de oscilador [2]. A presença de N na eq. (2) associa o índice de refração com a pressão do gás. Desta forma, a medida de índice de refração de gases pode ser utilizada para obter informações sobre a sua pressão e para o estudo da composição de uma mistura [1].

Utilizou-se o interferômetro de Michelson com uma câmara de gás em um de seus braços para a medição do índice de refração do ar. Para este interferômetro, se Δm é o número de franjas (máximos ou mínimos de interferência) contadas, L o comprimento da câmara e considerando-se o índice de refração do vácuo igual a 1, para uma dada pressão do gás a refratividade pode ser obtida em função do comprimento de onda da fonte pela relação

$$n_{\text{gás}} - 1 = \frac{\Delta m \lambda}{2L} \quad (2)$$

3. Metodologia

Foram utilizados na parte experimental basicamente três principais elementos, um interferômetro de Michelson, uma bomba mecânica para gerar vácuo e um sistema de contagem de franjas.

O interferômetro de Michelson foi iluminado em medições diferentes por um laser de He-Ne emitindo em $\lambda=632,8$ nm, um laser de Nd:YAG dobrado em frequência emitindo em $\lambda=532$ nm e um laser de diodo vermelho, com comprimento de onda $\lambda=653$ nm, o que permite obter as frações volumétricas de até quatro gases em uma mistura. Seu esquema óptico é mostrado na figura 1.

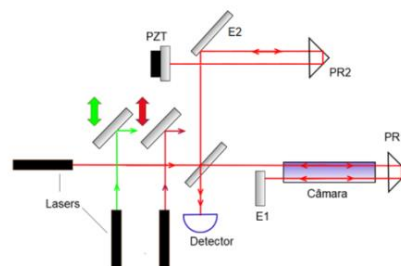


Figura 1 – Interferômetro de Michelson com 3 lasers.

Na figura 1, PR1 e PR2 são prismas retos, E1 e E2 são espelhos, e PZT é um espelho movido por um transdutor piezoelétrico. O esquema utilizado para alterar a pressão da câmara de vácuo pode ser vista na figura 2, tendo o vácuo gerado através de uma bomba mecânica. Podemos destacar nesse sistema a câmara de vácuo suplementar, atuando com um *buffer*, permitindo a manipulação do gás de forma a alterar de maneira gradativa as franjas de interferência.

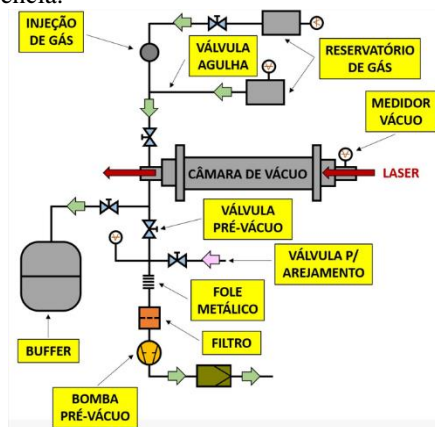


Figura 2 – Sistema de vácuo com a câmara de gás.

Para que seja feita a contagem de máximos de interferência deslocados sobre a influência da bomba mecânica no interferômetro de Michelson, foi construído um sistema de contagem de franjas, constituído de um detector LDR e um amplificador operacional.

4. Resultados e discussão

O sistema de contagem de franjas foi testado no Laboratório de Óptica Aplicada da FATEC-SP. Para a calibração inicial do contador de franjas, usou-se um laser de diodo chaveado e alimentado por um sinal PWM. Parte do laser foi desviada para um fotodiodo comum e registrada por osciloscópio para medir a frequência do sinal. O número de franjas foi obtido multiplicando-se o tempo total de aquisição pela frequência do pulso. Este resultado foi comparado com o obtido diretamente pelo contador. A tabela 1 compara estes resultados, com discrepâncias inferiores a 0,6%, em um total de 7 ciclos de medição.

Tabela I – Dados coletados durante testes

Frequência (Hz)	Tempo (s)	Pulsos (esperado)	Pulsos (medido)	δ (%)
1	3600	3600	3579	0,58
2	26	3120	3112	0,25
2	45	5400	5381	0,35
2	60	7200	7174	0,36
2	80	9600	9564	0,38
3	90	16200	16122	0,48
4	62	14880	14838	0,28

Os testes para a medida de índices de refração do ar foram feitos usando-se os lasers de He-Ne e de Nd:YAG como fonte de luz. Como o objetivo nesse primeiro momento é apenas avaliar o desempenho do

interferômetro e do contador, foram realizadas medidas de índice de refração do ar sem a preocupação de se controlar ou monitorar a temperatura e a pressão ambientes.

Nas medições realizadas com o laser He-Ne, sendo $L = 0,500$ m, e tendo como parâmetro a variação da pressão do ar na câmara de vácuo no intervalo de 697,3 Torr mBar (P_i – Pressão Inicial, atmosférica local) até 0,0 mBar (P_f – Pressão Final obtida por extrapolação), obteve-se o número médio de 771,8 franjas, gerando o resultado de refratividade de $(n_{ar} - 1)_{EXP} = 2,442 \times 10^{-4}$, de acordo com a equação (2), considerando-se a temperatura ambiente de 24° C. O índice de refração do ar a esta temperatura e pressão atmosférica, para $\lambda = 632,8$ nm, de acordo com a literatura [3] é $(n_{ar} - 1)_{LIT} = 2,4546 \times 10^{-4}$, resultando em um desvio experimental de 0,52 %.

Medidas análogas foram realizadas usando-se o laser de Nd:YAG dobrado em frequência ($\lambda = 532$ nm) para iluminar o interferômetro. Obteve-se o número de 924,3 franjas deslocadas, gerando o resultado de $(n_{ar} - 1)_{EXP} = 2,459 \times 10^{-4}$, enquanto que $(n_{ar} - 1)_{LIT} = 2,4696 \times 10^{-4}$, levando a um desvio experimental de 0,44%.

5. Conclusões

Os resultados alcançados mostraram que o sistema desenvolvido até o momento teve uma boa compatibilidade entre os resultados esperados e os alcançados. Estudos e desenvolvimentos estão sendo ora realizados, no intuito de se obter medidas mais reprodutivas e processos mais imunes a perturbações externas, que podem produzir variações espúrias de franjas. Também será necessário parametrizar alguns dados e posições do sistema, tornando essas um padrão, visando não perder as referências ao trocar de laser.

É válido salientar que o desvio experimental, entre os dados coletados com os resultados esperados, pode ser atribuído a condições adversas que não foram controladas, sendo elas por exemplo: a temperatura do gás e do laboratório. Controlar essas condições, considerando-as nos resultados, será uma das etapas que deverão ser realizadas durante a continuação desse projeto.

6. Referências

- [1] N. Bauer, K. Fajans, S.Z. Lewin, Refractometry, third ed., Physical Methods of Organic Chemistry, vol. I, Interscience Publishers, New York, 1960.
- [2] M.A. Heald, J.B. Marion, Classical Electromagnetic Radiation, Third Edition, Dover, New York, 2012.
- [3] ver, por exemplo, <https://emtoolbox.nist.gov/Wavelength/Ciddor.asp>, acessado em 23/08/2022.

Agradecimentos

À FATEC-SP pela realização das medidas e empréstimo de equipamentos.

¹ Aluno de IC do Centro Universitário FEI (com bolsa CNPq). Projeto com vigência de 09/2021 a 09/2022.