

Instrumentação de um Refratômetro para Sólidos Utilizando Difração

ANDREATTA, Geovane Ronaldo¹; PIANOWSKI, Gabriely Gubert¹; SOMER, Aloisi^{1,2}

Universidade Estadual de Ponta Grossa – Departamento de Física¹

Universidade Estadual de Ponta Grossa – Programa de Pós-Graduação em Ciências/Física²

25007004@uepg.br¹

Palavras-Chave: refração; rede de difração; índice de refração.

Resumo

Este trabalho apresenta uma proposta experimental para determinar o índice de refração de sólidos transparentes por meio do deslocamento do máximo de difração de ordem $m = 1$. O arranjo utiliza uma rede de difração posicionada antes da amostra de vidro e um feixe laser incidindo em diferentes ângulos. A comparação entre a posição do máximo $m = 1$ antes e depois da passagem pelo vidro permite obter o deslocamento causado pela refração e calcular o índice de refração pelo modelo geométrico baseado na lei de Snell-Descartes. A proposta mostrou-se viável, inovadora e de baixo custo para medidas ópticas em sólidos.

I. INTRODUÇÃO

Índice de refração é uma grandeza que mede a velocidade de propagação da luz em um meio (v) em relação à velocidade da luz no vácuo (c), dada por $n = c/v$. A refração é um fenômeno ondulatório que ocorre quando a luz passa de um meio para outro com índices de refração diferentes (n), sofrendo alteração em sua velocidade e, em geral, em sua direção de propagação. Esse fenômeno está presente em diversas situações do cotidiano e em inúmeras aplicações tecnológicas, como a formação de imagens em lentes de óculos, câmeras, microscópios e telescópios, além da dispersão da luz em prismas e da transmissão de sinais em fibras ópticas. A velocidade de propagação da onda luminosa é dada por $v = \lambda f$, sendo λ o comprimento de onda e f a frequência. Da igualdade, temos que a alteração no parâmetro da velocidade implica indispensavelmente uma variação nos outros dois termos (NUSSENZVEIG, 2013).

Estudos anteriores demonstram que a variação ocorre no λ após a passagem de um meio para outro (JAFFE, 1960; LIVINGSTON, 1973; JÚNIOR, 2012; HORVÁTH; WANNOUS, 2019). Ainda mais, estudos demonstram a possibilidade de obtenção do valor do

índice de refração de líquidos através da difração da luz por uma rede de difração, analisando a razão entre os comprimentos de onda no ar e no meio, obtidos por meio do primeiro máximo de difração ($m = 1$), pela equação 1 (SOMER et al., 2026):

$$m\lambda_{\text{meio}} = d \sin \theta_{\text{meio}}, \quad (1)$$

em que d é o espaçamento entre as fendas da rede.

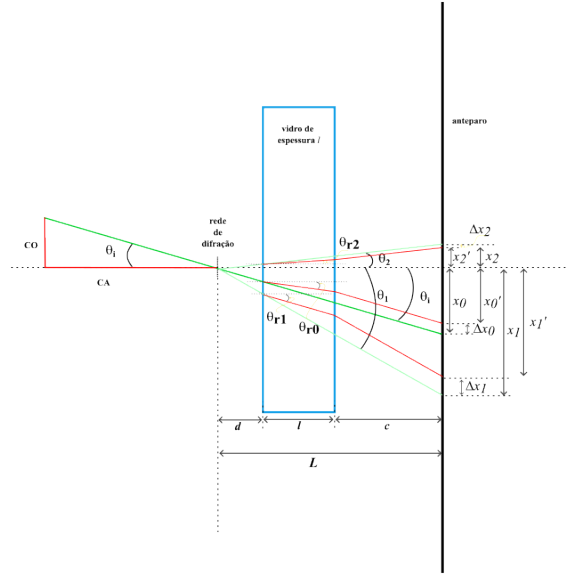
Neste trabalho propomos uma adaptação deste experimento para obtenção do índice de refração de vidros por meio da refração a partir do deslocamento dos máximos de difração, com base na lei de Snell-Descartes e em semelhanças trigonométricas. Para melhorar a precisão e a observação dos deslocamentos dos máximos, o feixe incidente foi utilizado com ângulos diferentes de 0° em relação à normal.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA/MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 1 apresenta o esquema do experimento utilizado para realização das medidas do índice de refração pelos máximos de difração. Inicialmente, posiciona-se o laser incidindo no centro da rede de difração, registra-se o ângulo de incidência e o deslocamento dos máximos em relação ao centro sem o vidro. Posteriormente, coloca-se o vidro e registra-se o deslocamento efetuado decorrente da refração. Todos os registros dos deslocamentos do feixe de luz foram feitos utilizando uma câmera de smartphone de 50 megapixels. Através das fotos e com a referência de um papel milimetrado, foi possível estabelecer uma relação para conversão de pixel em cm.

Na Figura 1, θ_i é o ângulo de entrada do feixe e os ângulos refratados em relação aos máximos são θ_{r0} , θ_{r1} e θ_{r2} . O ângulo θ_2 é formado com a normal em relação ao máximo $m = -1$ sem a refração, e θ_1 é o ângulo formado com a normal em relação ao máximo $m = 1$ sem refração. As variações Δx representam o deslocamento do feixe de luz decorrente da refração em relação a cada máximo, com x representando as posições dos máximos em relação ao centro antes do processo de refração e x' as posições dos máximos em relação ao centro depois do processo de refração. O fator $d = 3,2$ mm é a distância da rede até a primeira borda do vidro, l é a espessura da amostra de vidro, c é a distância da segunda borda do vidro até a parede do sistema onde é realizada a medição da posição dos máximos e $L = 15,24$ cm é a distância da rede de difração até a parede do sistema. Para o experimento, foram realizadas medidas de teste em amostras de vidro *soda lime* comercial de espessura 9,9 mm com três lasers de comprimentos de onda diferentes: azul em $\lambda = 405$ nm, verde em $\lambda = 532$ nm e

Fig. 1. Esquema experimental para determinação do índice de refração pelos máximos de difração.



Fonte: Os autores.

vermelho em $\lambda = 632,8 \text{ nm}$.

O índice de refração do vidro (n_2) pode ser obtido a partir da lei de Snell-Descartes, considerando o índice de refração do ar $n_1 = 1$ no máximo de difração de ordem $m = 1$, por:

$$n_2 = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_{r1}}, \quad (2)$$

onde

$$\sin \theta_1 = \frac{x_1}{\sqrt{x_1^2 + L^2}}, \quad (3)$$

e, após algumas manipulações algébricas e trigonométricas, θ_{r1} é dado por:

$$\theta_{r1} = \arctan \left(\frac{x_1}{L} - \frac{\Delta x_1}{l} \right), \quad (4)$$

permitindo obter-se o índice de refração do vidro.

III. RESULTADOS

A Tabela I apresenta a variação do índice de refração (n_2) e o deslocamento do primeiro máximo de difração (Δx_1) em função da varredura do ângulo de incidência. Podemos observar que os valores de Δx_1 aumentam com o ângulo de incidência. Esse é um bom resultado porque, para amostras finas, utilizar a incidência perpendicular pode causar artefatos

devido ao pequeno deslocamento e, portanto, gerar valores não confiáveis de índice de refração.

A utilização de ângulos de incidência diferentes de 0° mostrou-se, portanto, uma estratégia importante para ampliar a resposta experimental do sistema. Ao aumentar o deslocamento lateral dos máximos de difração, torna-se possível reduzir a influência relativa dos erros de leitura, melhorando a confiabilidade na determinação do índice de refração. Esse resultado reforça a viabilidade do arranjo proposto como alternativa simples e de baixo custo para estudos ópticos em sólidos transparentes.

Tabela I. Resultados variando-se o ângulo de incidência para o laser verde.

θ_1 ($^\circ$)	Δx (cm)	n_2
17,7264	0,4912	1,54233
20,5300	0,5544	1,4422
23,1941	0,75	1,4007
23,4955	0,6505	1,3928
23,9065	0,7270	1,5389
25,3206	0,8706	1,5576

Fonte: Os autores.

As medidas foram realizadas em dois cenários, laser verde e vermelho, ambos demonstraram variações significativas, mas com um desvio padrão relativamente pequeno para maiores comprimentos de onda, sendo obtidos os valores de $n = (1,57 \pm 0,09)$ para o azul de $\lambda = 405$ nm, $n = (1,56 \pm 0,02)$ para o verde em $\lambda = 532$ nm e $n = (1,54 \pm 0,05)$ para o vermelho em $\lambda = 632,8$ nm. A diminuição do índice de refração com o comprimento de onda é esperada e está de acordo com valores obtidos na literatura (POLYANSKIY, 2023). Apesar dos resultados promissores, ainda foram observadas variações aleatórias e não lineares entre algumas medidas. Essas diferenças podem estar associadas a limitações do arranjo experimental, como pequenas imprecisões no alinhamento entre laser, rede de difração, vidro e anteparo; dificuldade na identificação exata do centro dos máximos; espessura finita do feixe; paralaxe na captura das imagens; e incertezas na calibração da escala obtida por meio do papel milimetrado.

IV. CONCLUSÕES

Conclui-se que a proposta experimental desenvolvida constitui um método viável, acessível e inovador para a determinação do índice de refração de sólidos transparentes. A utilização de uma rede de difração associada à análise do deslocamento dos máximos permitiu relacionar o fenômeno da difração com a refração no interior do vidro, possibi-

tando a obtenção do índice de refração por meio de um arranjo simples e de baixo custo. Os resultados indicaram que a variação do ângulo de incidência é um fator importante para melhorar a sensibilidade da medida, principalmente em amostras sólidas de pequena espessura, nas quais os deslocamentos produzidos pela refração podem ser reduzidos. Dessa forma, a incidência não perpendicular mostrou-se uma estratégia eficiente para ampliar os deslocamentos observados e reduzir a influência relativa das incertezas experimentais. Além disso, as medidas realizadas com lasers de diferentes comprimentos de onda demonstraram que o método também permite discutir a dependência do índice de refração com o comprimento de onda, evidenciando o comportamento dispersivo do material. Assim, além de sua aplicação na determinação experimental do índice de refração, a proposta apresenta potencial didático para o ensino de óptica, integrando conceitos de refração, difração, dispersão e instrumentação científica. Embora ainda sejam necessários refinamentos no alinhamento óptico, na calibração das imagens e na análise das incertezas, os resultados obtidos demonstram que o modelo experimental e matemático é promissor. Portanto, a metodologia proposta pode ser considerada uma alternativa interessante para a medição do índice de refração de sólidos, especialmente em contextos de ensino, iniciação científica e desenvolvimento de instrumentação experimental de baixo custo.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente financiado por projeto do CNPq (304374/2024-5). Agradecemos ao Grupo de Propriedades Eletrônicas e Vibracionais em Materiais (GPEViM) da UEPG pela estrutura.

REFERÊNCIAS

- HORVÁTH, P.; WANNOUS, J. Measuring the speed of light in water using a cd. In: **INNODOCT 2019 – International Conference on Innovation, Documentation and Education**. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València, 2019.
- JAFFE, B. **Michelson and the speed of light**. Garden City, NY: Doubleday, 1960.
- JÚNIOR, A. P. **Uma história da interferometria no século XIX**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- LIVINGSTON, D. M. **The master of light: a biography of Albert A. Michelson**. New York: Charles Scribner's Sons, 1973.
- NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica 4: óptica, relatividade, física quântica**. 5. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2013.
- POLYANSKIY, M. N. **Refractive index database**. 2023. Disponível em: <<https://refractiveindex.info>>. Acesso em: 15 jun. 2026.
- SOMER, A. et al. **Prova Experimental Direta da Variação do Comprimento de Onda da Luz na Mudança de Meio Usando Difração**. 2026. Artigo submetido ao Caderno Brasileiro de Ensino de Física.