

REFRAÇÃO DA LUZ LASER EM SOLUÇÕES COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES

Guilherme Pizzato Michelin, Miguel Augusto Kich Mendes, Tiago Cassol Severo, Colégio Scalabriniano Nossa Senhora Medianeira

RESUMO: O estudo do comportamento da luz ao atravessar diferentes meios é fundamental para compreender fenômenos ópticos e suas aplicações tecnológicas. Nesse contexto, investigou-se o índice de refração de um feixe de laser monocromático de potência fixa, incidido a 45° de inclinação, em soluções aquosas preparadas com sal e com açúcar, de forma a analisar como a variação da concentração de solutos afeta a propagação da luz. O objetivo principal do projeto foi comparar os efeitos de diferentes concentrações molares na alteração do caminho do feixe luminoso. A metodologia consistiu na preparação de soluções com concentrações graduais de sal e açúcar dissolvidos em água, seguida da incidência do laser e da medição dos ângulos de refração para posterior cálculo dos índices. Os resultados indicaram que tanto o sal quanto o açúcar aumentam o índice de refração em relação à água pura, sendo que o sal apresentou maior variação por concentração. Conclui-se que a densidade do soluto exerce influência significativa no desvio da luz.

Palavras-Chave: Luz; Laser; Soluções; Concentrações.

ABSTRACT: The study of how light behaves as it passes through different media is essential for understanding optical phenomena and their technological applications. In this context, the refractive index of a monochromatic laser beam of fixed power, incident at a 45° angle, was investigated in aqueous solutions prepared with salt and sugar to analyze how changes in solute concentration affect light propagation. The main objective of the project was to compare the effects of different molar concentrations on the alteration of the light beam's path. The methodology involved preparing solutions with gradual concentrations of salt and sugar dissolved in water, followed by directing the laser through them and measuring the refraction angles to calculate the refractive indices. The results showed that both salt and sugar increased the refractive index compared to pure water, with salt producing a greater variation per concentration. It is concluded that the density of the solute has a significant influence on the deviation of light.

Keywords: Light; Laser; Solutions; Concentrations

INTRODUÇÃO

A luz é uma onda eletromagnética que apresenta fenômenos diversos ao interagir com diferentes meios, sendo a refração um dos mais relevantes. A refração ocorre quando a luz atravessa a interface entre dois meios com índices de refração diferentes, sofrendo alteração de velocidade e direção (Hecht, 2016). Esse fenômeno é descrito pela Lei de Snell, que relaciona os ângulos de incidência e refração com os índices de refração dos meios (Halliday; Resnick; Walker, 2016). O índice de refração, portanto, depende das propriedades físico-químicas do meio, incluindo densidade, polarização molecular e temperatura (Reid et al., 2005). A adição de solutos à água, como NaCl e sacarose, altera essas propriedades, impactando diretamente o índice de refração. Soluções salinas apresentam aumento mais acentuado do índice devido à dissociação iônica, enquanto soluções açucaradas promovem alterações mais sutis por meio de ligações de hidrogênio (Černek et al., 2015). Além disso, a temperatura influencia a densidade e a polarizabilidade da solução, podendo reduzir o índice de refração à medida que a solução aquece (León et al., 2019). Diante desse contexto, o problema de pesquisa do estudo é investigar como a concentração do soluto e a temperatura da solução afetam o índice de refração de soluções aquosas de NaCl e sacarose. Essa análise permite compreender não apenas os efeitos isolados de cada variável, mas também suas interações, fornecendo dados experimentais aplicáveis em ensino de óptica e em medições físico-químicas. O estudo justifica-se pela relevância científica de compreender os fatores que influenciam a refração da luz, além da contribuição didática para experimentos escolares que aproximam conceitos teóricos da prática laboratorial. O objetivo geral é analisar o efeito combinado da concentração e da temperatura sobre o índice de refração de soluções aquosas de NaCl e sacarose. Os objetivos específicos incluem: medir os ângulos de refração utilizando um laser

monocromático vermelho de 5 mW, calcular o índice de refração para diferentes concentrações e temperaturas, e comparar os resultados entre os dois tipos de soluções.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A óptica é a área da Física que estuda os fenômenos relacionados à luz, incluindo sua propagação e interação com a matéria. A refração é um dos fenômenos mais importantes nesse contexto, ocorrendo quando um feixe luminoso atravessa a interface entre dois meios diferentes, sofrendo alteração em sua velocidade e, conseqüentemente, em sua direção de propagação (Hecht, 2016). Essa mudança é descrita pela Lei de Snell, que relaciona os ângulos de incidência e refração com os índices de refração dos meios (Halliday; Resnick; Walker, 2016). O índice de refração é definido como a razão entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz no meio considerado. Assim, quanto maior a densidade óptica de uma substância, maior será seu índice de refração (Morais; Martins, 2013). Além disso, o índice de refração é sensível à temperatura, pois o aumento térmico reduz a densidade do líquido, alterando a interação entre moléculas e diminuindo ligeiramente o índice de refração (Reid et al., 2005).

A adição de solutos à água modifica suas propriedades físico-químicas, como densidade e polarizabilidade molecular, impactando diretamente o índice de refração (UFJF, 2018). Soluções salinas (NaCl em água) e sacarídicas (açúcar em água) apresentam comportamentos distintos devido às diferentes interações moleculares. Enquanto os sais iônicos se dissociam em cátions e ânions, alterando fortemente a estrutura da água, moléculas de sacarose interagem por meio de ligações de hidrogênio, promovendo variações menos intensas (Černek et al., 2015). Estudos demonstram que o índice de refração aumenta com a concentração do soluto, mas a magnitude desse efeito é modulada pela temperatura (Reid et al., 2005). Em soluções aquosas, o aumento da temperatura tende a diminuir o índice de refração, tanto para sais quanto para açúcares, devido à diminuição da densidade e da polarização molecular. Por isso, a análise conjunta de concentração e temperatura é essencial para compreender o comportamento óptico completo das soluções (León et al., 2019). A determinação do índice de refração pode ser realizada por diferentes técnicas, incluindo refratômetros de bancada, métodos de interferometria e experimentos didáticos com lasers (Morais; Martins, 2013). Um dos métodos mais acessíveis é a medição de ângulos de desvio a partir da Lei de Snell, em que um feixe luminoso é incidido em ângulo conhecido sobre a interface e o ângulo refratado é medido. A partir desses dados, calcula-se o índice de refração do meio investigado.

Pesquisas recentes demonstram que lasers de baixa potência (como os de 5 mW) são seguros e eficazes para experimentos escolares, permitindo observação direta do fenômeno e mensuração de ângulos refratados (El-Fahamy et al., 2023). A introdução da variável temperatura permite verificar o efeito térmico sobre o índice de refração, aproximando os experimentos escolares de condições reais e proporcionando uma análise mais completa (León et al., 2019). Com base no exposto, tanto o sal quanto o açúcar modificam o índice de refração da água, mas de maneiras distintas. A inclusão da variável temperatura possibilita observar como o aquecimento ou resfriamento da solução influencia o índice de refração, permitindo comparar os dois tipos de soluto sob diferentes condições térmicas. A investigação proposta neste trabalho utiliza um laser monocromático de 5 mW em incidência fixa de 45°, com medições realizadas em diferentes concentrações e temperaturas, contribuindo para a compreensão dos efeitos combinados de concentração e temperatura sobre o índice de refração.

METODOLOGIA

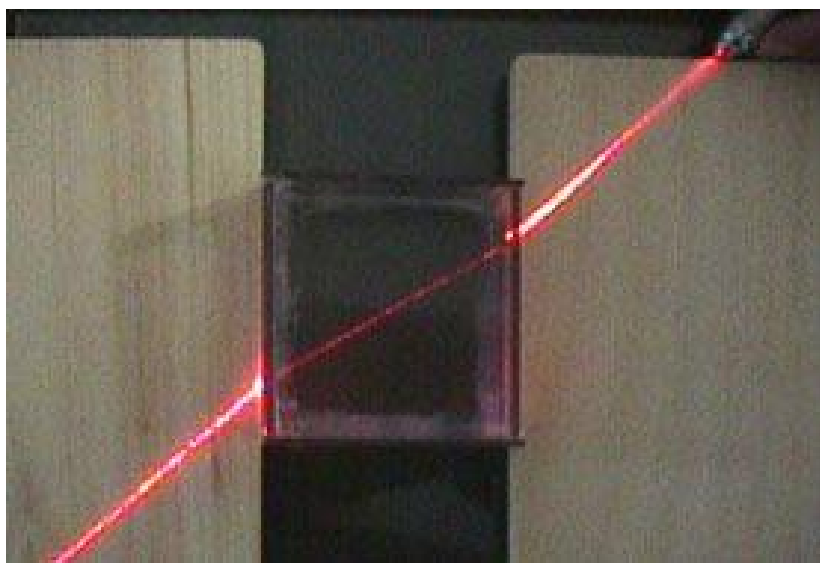
A pesquisa é experimental, quantitativa e controlada, envolvendo a comparação entre dois solutos — NaCl e sacarose — em diferentes concentrações e temperaturas. Foram definidos dois fatores principais: a concentração, expressa como porcentagem da solubilidade máxima (10%, 20% e 30%), e a temperatura, ajustada para 20 °C, 30 °C e 40 °C. Para o experimento, utilizaram-se um laser monocromático de 5 mW, um recipiente transparente de acrílico ou vidro, um transferidor de 180°, papel milimetrado, régua, fita adesiva, balança digital de alta precisão, proveta de 1 L, béqueres, espátula, bastão agitador, termômetro ou sonda térmica, além de fonte de calor, água

destilada e os solutos NaCl e sacarose, com posterior registro dos dados em planilha.

A preparação das soluções consistiu em dissolver, para cada soluto, as massas correspondentes a 10%, 20% e 30% da solubilidade máxima em 1 L de solução. Para o NaCl, com solubilidade de 360 g/L a 20 °C, foram utilizadas massas de 36 g, 72 g e 108 g, respectivamente. Para a sacarose, cuja solubilidade é de 2000 g/L, as massas foram de 200 g, 400 g e 600 g. As amostras foram preparadas inicialmente com cerca de 800 mL de água destilada, dissolvidas com agitação e leve aquecimento quando necessário, completadas até 1 L e homogeneizadas. O controle de temperatura foi realizado ajustando-se cada amostra para 20 °C, 30 °C ou 40 °C, utilizando banho térmico, aquecedor ou gelo, mantendo-se o sistema em equilíbrio por 10 a 15 minutos antes das medições. A montagem experimental consistiu em posicionar o transferidor paralelo ao recipiente, ajustar o laser para incidir na interface ar-líquido com ângulo de incidência de 45°, e marcar no papel milimetrado as trajetórias do feixe incidente e do feixe refratado, permitindo a medição do ângulo de refração. Para cada soluto foram realizadas nove medições (três concentrações em três temperaturas), totalizando dezoito medidas no experimento. Os dados foram registrados em planilha contendo soluto, concentração, massa em g/L, molaridade, temperatura, número da medida, ângulos de incidência e refração, e o índice de refração calculado.

A análise dos dados envolveu o cálculo do índice de refração a partir da equação $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$. Além disso, foi observada a relação fundamental entre o índice de refração e a velocidade da luz no meio, descrita por $n = c/v_n = c/v_n = c/v$. Para cada condição experimental foram determinadas a média e o desvio-padrão, seguidos da análise das tendências do índice de refração em função da concentração e da temperatura, assim como a comparação entre os dois solutos, incluindo uma análise estatística simples considerando os dois fatores do experimento.

Imagem 1- Visão vertical do experimento



Fonte: (Autores, 2025)

RESULTADOS E ANÁLISES

Nesta seção são apresentados os dados experimentais obtidos para as soluções de NaCl e sacarose em diferentes temperaturas e concentrações. As tabelas a seguir mostram os valores medidos de ângulo de refração (θ_1 e θ_2) e o índice de refração calculado (n). Em seguida, os gráficos ilustram a variação de n em função da concentração e da temperatura.

Tabela 1- Solução de NaCl

Soluto	Concentração (% solub.)	Massa (g/L)	M (mol/L)	Temp (°C)	θ_1 (°)	θ_2 (°)	n calculado
NaCl	10%	36	0,6153846154	20	45	32,1	1,333
NaCl	20%	72	1,2307692308	20	45	31,9	1,334
NaCl	30%	108	1,8461538462	20	45	31,6	1,336
NaCl	10%	36	0,6153846154	30	45	32,2	1,332
NaCl	20%	72	1,2307692308	30	45	32	1,333
NaCl	30%	108	1,8461538462	30	45	31,8	1,335
NaCl	10%	36	0,6153846154	40	45	32,3	1,331
NaCl	20%	72	1,2307692308	40	45	32,1	1,332
NaCl	30%	108	1,8461538462	40	45	31,9	1,334

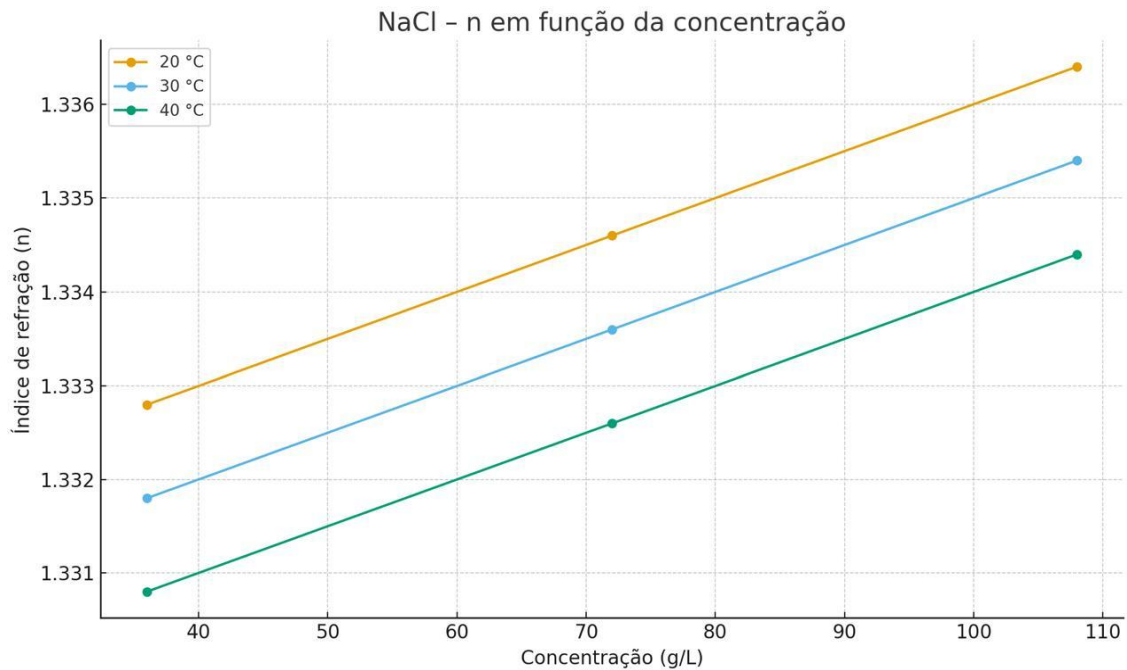
Fonte: (Autores, 2025).

Tabela 2- Solução de sacarose

Soluto	Concentração (% solub.)	Massa (g/L)	M (mol/L)	Temp (°C)	θ_1 (°)	θ_2 (°)	n calculado
Sacarose	10%	200	0,5842887672	20	45	31,7	1,347
Sacarose	20%	400	1,1685775344	20	45	31,3	1,363
Sacarose	30%	600	1,7528663016	20	45	30,8	1,379
Sacarose	10%	200	0,5842887672	30	45	31,8	1,346
Sacarose	20%	400	1,1685775344	30	45	31,4	1,362
Sacarose	30%	600	1,7528663016	30	45	31	1,377
Sacarose	10%	200	0,5842887672	40	45	31,9	1,345
Sacarose	20%	400	1,1685775344	40	45	31,5	1,361
Sacarose	30%	600	1,7528663016	40	45	31,1	1,376

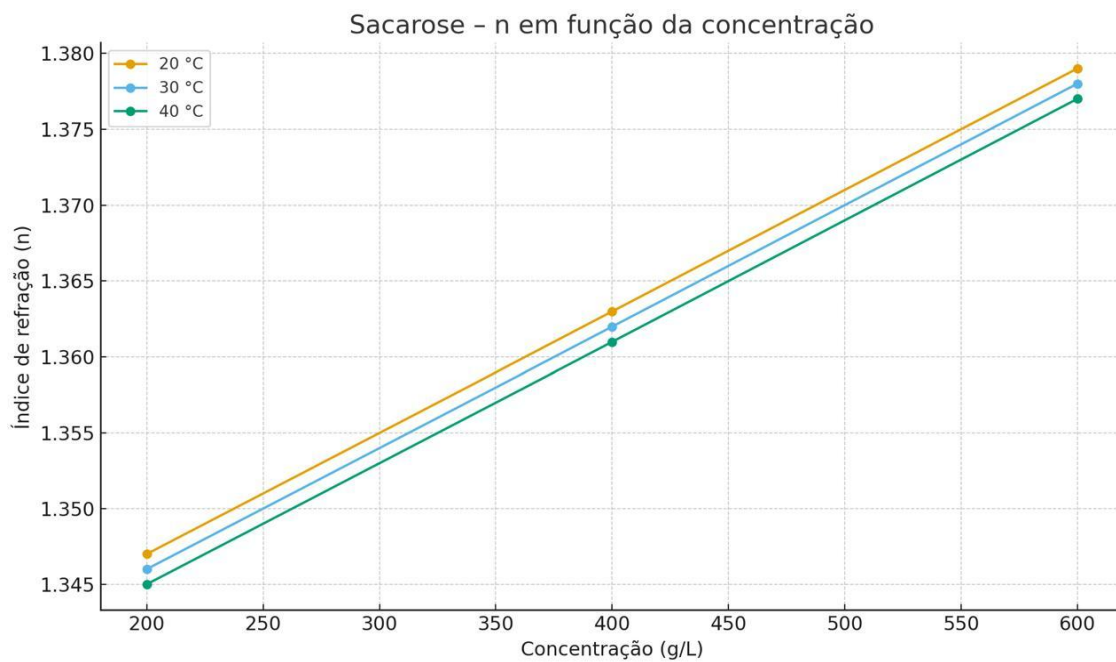
Fonte: (Autores,2025)

Figura 1- Gráfico de NaCl



Fonte: (Autores,2025)

Figura 2- Gráfico de Sacarose



Fonte: (Autores,2025)

Observou-se que, para ambas as substâncias analisadas, o índice de refração diminui com o aumento da temperatura. Esse comportamento ocorre porque o aumento da temperatura reduz a

densidade da solução: as moléculas se afastam, diminuindo a interação com a luz e, consequentemente, reduzindo o valor de n . Nos gráficos fornecidos, tanto nas soluções de NaCl quanto nas de sacarose, as curvas correspondentes às temperaturas de 20, 30 e 40 graus Celsius mostram valores decrescentes de n para uma mesma concentração, confirmando essa tendência. No gráfico “NaCl - n em função da concentração”, nota-se uma relação linear crescente entre o índice de refração e a concentração de cloreto de sódio. Isso indica que o aumento da concentração de NaCl (de 36 g/L a 108 g/L) causa incremento no índice de refração, pois há mais íons dissolvidos no meio, aumentando a densidade ótica e diminuindo a velocidade da luz na solução. Já o gráfico “Sacarose - n em função da concentração” mostra o mesmo comportamento: o índice de refração cresce linearmente com a concentração da sacarose. A variação é mais acentuada do que na solução de sal, pois a sacarose, sendo uma molécula maior e mais polarizável, altera mais fortemente o índice de refração da água conforme sua concentração aumenta.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, verificou-se que o índice de refração da luz em soluções aquosas depende diretamente da concentração do soluto e inversamente da temperatura do meio. Observou-se que, conforme a concentração de NaCl ou sacarose aumentou, o valor do índice de refração também se elevou, indicando que a adição de soluto aumenta a densidade ótica do meio, reduzindo a velocidade de propagação da luz. Por outro lado, o aumento da temperatura resultou em uma ligeira redução do índice de refração, o que está de acordo com o comportamento esperado, uma vez que o aquecimento diminui a densidade do líquido e, consequentemente, o número de interações entre as moléculas de água e a luz incidente. Esses resultados confirmam a validade da Lei de Snell-Descartes e da relação entre o índice de refração e a velocidade da luz no meio ($n=c/v$), evidenciando a influência simultânea das propriedades físicas da solução sobre o comportamento óptico observado. Portanto, o experimento demonstrou de forma consistente que tanto a temperatura quanto a concentração do soluto são fatores determinantes na variação do índice de refração, permitindo compreender com maior profundidade o fenômeno da refração em meios materiais não ideais.

AGRADECIMENTOS

Prezada comunidade do Colégio Scalabriniano Nossa Senhora Medianeira, nosso profundo agradecimento se estende a todos e às famílias, cujo apoio e parceria inestimável são o alicerce fundamental para o sucesso e o desenvolvimento integral de cada aluno.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HECHT, Eugene. *Óptica*. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. *Física para Cientistas e Engenheiros – Volume 2: Eletromagnetismo e Óptica*. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos de Física – Volume 4: Óptica e Física Moderna*. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

SERWAY, Raymond A.; JEWETT JR., John W. *Princípios de Física – Volume 3: Óptica e Física Moderna*. 4. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

GIANCOLI, Douglas C. *Física: Princípios com Aplicações*. 7. ed. São Paulo: Pearson Education, 2016.

CASSINI, R. A.; BIANCHINI, C. *Refratometria e determinação do índice de refração de soluções aquosas*. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 4, p. 573–578, 2007.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY (NIST). *Refractive Index of Water and Aqueous Solutions as a Function of Temperature and Wavelength*. Gaithersburg, 2018. Disponível em: <https://physics.nist.gov>.

FOUQUET, C.; OLIVEIRA, A. R. *Influência da temperatura e concentração sobre o índice de refração de soluções salinas e sacarosas*. *Revista de Ensino de Ciências e Matemática*, v. 14, n. 2, 2020.