



Análise do desempenho de elementos ópticos transparentes de fabricação própria utilizando a Lei de Snell e fotoanálise

Performance analysis of in-house-manufactured transparent optical elements using Snell's law and photoanalysis

Vinícius Werneck Ferreira Mendes

Estudante de graduação
Instituto Federal de São Paulo *Campus* São Paulo
<https://orcid.org/0009-0008-4328-4361>
viniwfmendes@gmail.com

Felipe Tempobono

Estudante de graduação
Instituto Federal de São Paulo *Campus* São Paulo
<https://orcid.org/0009-0006-7571-8967>
felipe.tempobono@aluno.ifsp.edu.br

Alberto Carlos Bertuola

Doutor
Instituto Federal de São Paulo *Campus* São Paulo
<https://orcid.org/0000-0002-4474-3071>
acbertuola2@ifsp.edu.br

Carlos Antônio da Rocha

Doutor
Instituto Federal de São Paulo *Campus* São Paulo
<https://orcid.org/0000-0001-8326-1553>
carlosrocha@ifsp.edu.br

Mauro Machado de Oliveira

Doutor
Instituto Federal de São Paulo *Campus* São Paulo
<https://orcid.org/0000-0003-3501-267X>
mauro.mo@ifsp.edu.br

Histórico do artigo

Recebido em: 13.04.2026

Revisões solicitadas: 06.06.2026

Versão reformulada recebida: 12.06.2026

Aprovado em: 25.06.2026

Publicado em: 25.06.2026

RESUMO

Neste trabalho, descrevemos a fabricação de lentes não delgadas convergentes e de dióptricos prismáticos triangulares e retangulares, desde a proposta de design dos dispositivos ópticos da escolha do material até as respectivas confecções com um CNC a laser e o polimento final. O teste de qualidade da usinagem é realizado por meio da incidência de um feixe de laser nas cores violeta e vermelha sobre as faces dos dispositivos ópticos.

Os raios são destacados, pulverizando-se sobre eles uma quantidade de talco, de modo a registrar todos os percursos por meio de fotografias. Os valores experimentais dos índices de refração do material, tanto para a cor violeta quanto para a vermelha, são determinados pela lei de Snell e pela técnica de fotoanálise do fenômeno de refração. Todos os valores dos índices de refração são comparados aos valores aceitos e publicados. Para a lente convergente espessa, o valor do índice de refração obtido é inserido na lei dos fabricantes de lentes e a distância focal é determinada. Esse valor é comparado ao valor experimental obtido a partir das medidas.

Palavras-chave: lentes não delgadas; lei de Snell; fotoanálise; dióptros planos; distância focal.

ABSTRACT

In this paper, we describe the fabrication of non-thin converging lenses and triangular and rectangular prismatic diopters, covering the design of the optical devices, material selection, their fabrication using a laser CNC machine, and final polishing. The machining quality is tested by directing violet and red laser beams onto the surfaces of the optical devices. The rays are highlighted by sprinkling talcum powder on them, so that all paths can be recorded through photographs. The experimental values of the material's refractive indices, for both violet and red light, are determined using Snell's law and the photoanalysis technique of the refraction phenomenon. All refractive index values are compared to accepted and published values. For the thick converging lens, the measured refractive index is entered into the lens manufacturer's formula to determine the focal length. This value is compared to the experimental value obtained from the measurements.

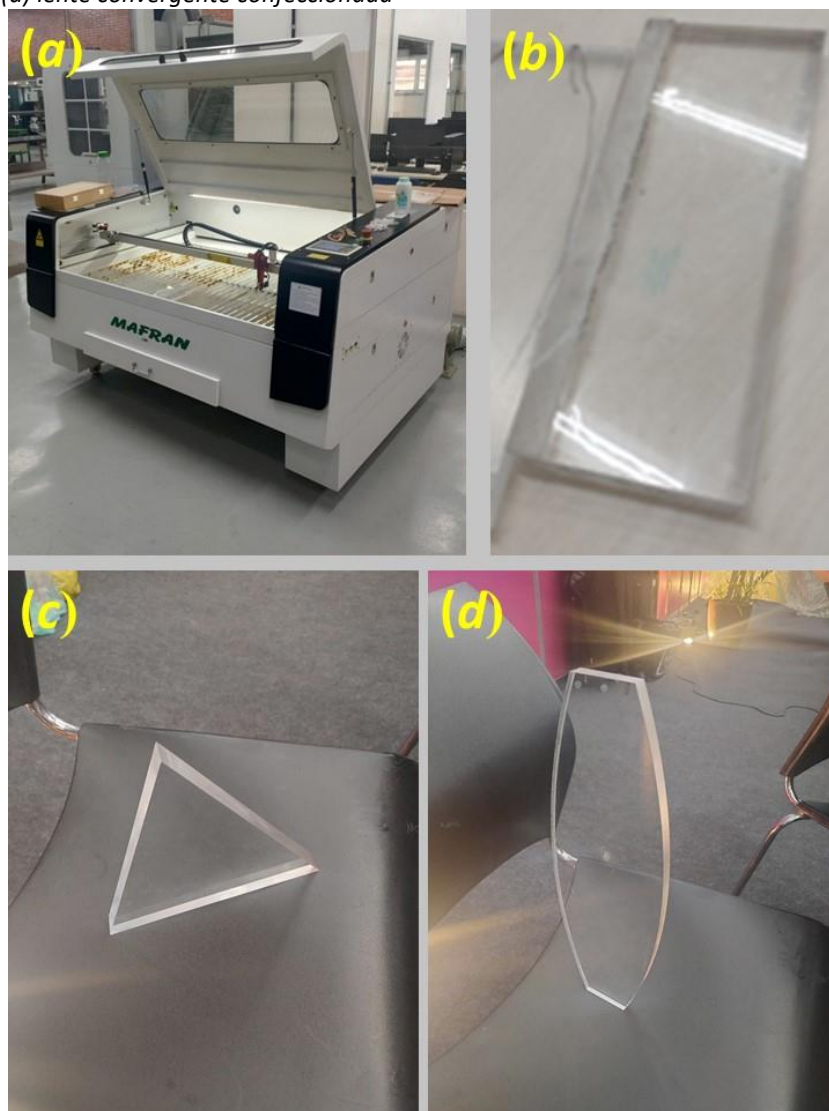
Keywords: non-thin lenses; Snell's law; photoanalysis; plano-convex lenses; focal length.

1. Introdução

No estudo do fenômeno de refração em laboratórios didáticos de Física, que utilizam lentes e dioptros prismáticos, tais dispositivos geralmente fazem parte de kits ópticos disponíveis no mercado [1]. Em princípio, não se cogita a possibilidade de fabricar esses dispositivos ópticos em casa, muito menos de testar a qualidade do aparato produzido com base em uma lei física. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é fabricar lentes convergentes e dioptros prismáticos triangulares e retangulares por meio de cortes a laser em placas acrílicas transparentes. A qualidade da usinagem dos dioptros prismáticos é avaliada por meio da determinação do índice de refração do material, conforme a Lei de Snell [2]. Já para a lente convergente espessa, o valor da distância focal obtido por fotoanálise é comparado ao fornecido pela equação dos fabricantes de lentes [3].

Atualmente, é fácil adquirir placas de acrílico transparente e, se houver disponibilidade de uma máquina CNC a laser, lentes e dióptros prismáticos podem ser fabricados para uso em experimentos de Óptica Geométrica. Uma fotografia do CNC e dos dispositivos ópticos é apresentada na Figura 1.

Figura 1 – (a) Máquina CNC a laser; (b) placa de material acrílico utilizada na fabricação; (c) prisma triangular confeccionado e (d) lente convergente confeccionada



Fonte: Arquivos dos autores, 2025.

Na figura 1, o quadro (a) mostra a máquina CNC a laser (Mafran, modelo MF-1390) utilizada no corte das peças acrílicas; o quadro (b) mostra a placa acrílica antes do corte; o quadro (c) mostra o dióptro prismático triangular e, no quadro (d), a lente convergente não delgada. Mas não basta fabricar os dispositivos ópticos; também é necessário verificar a qualidade da usinagem. Esse teste é realizado por meio de feixes de laser nas cores violeta e vermelha que incidem sobre as faces dos dióptricos. Em seguida, a lei de Snell é aplicada nos pontos de incidência para determinar os índices de refração do acrílico correspondentes às cores violeta e vermelha. Os ângulos de incidência e refração são determinados pela técnica de fotoanálise, que consiste na análise de fotografias do experimento como prática pedagógica.

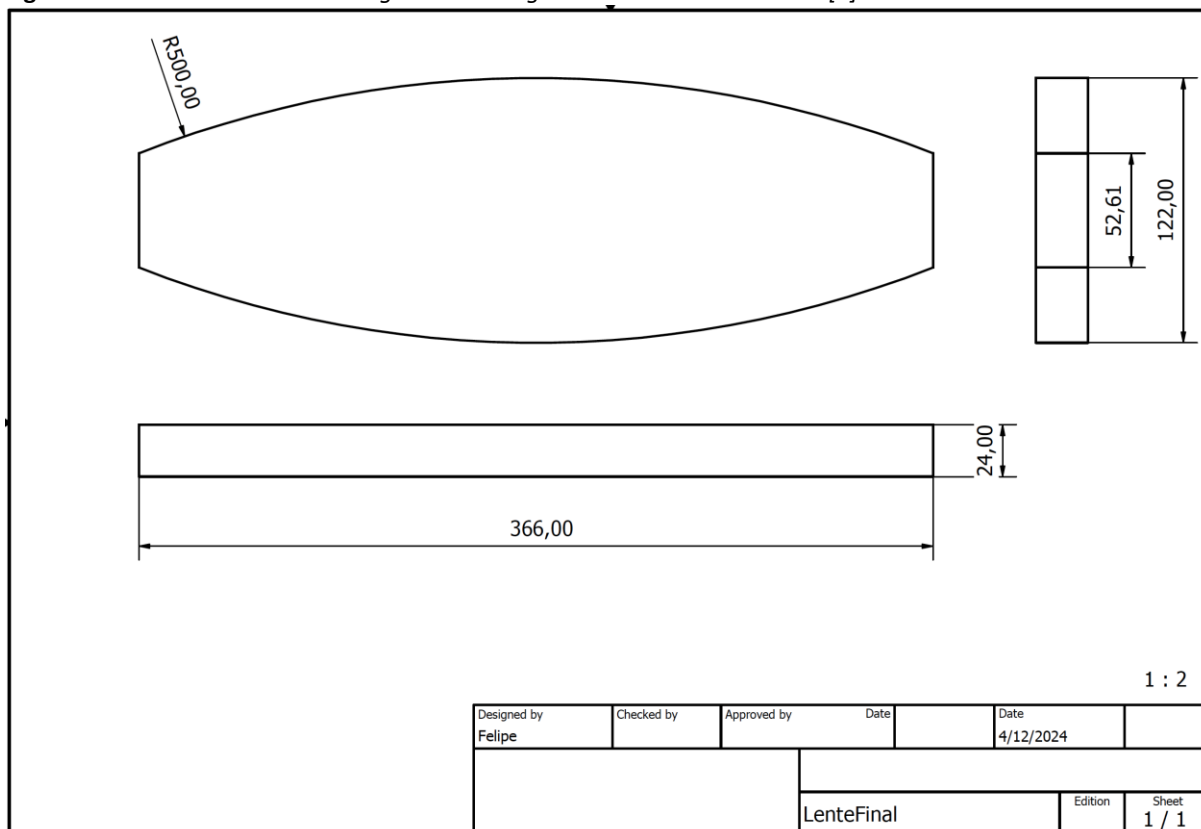
Na validação da qualidade de fabricação das lentes, ainda é possível determinar a distância focal, aproveitando os valores dos índices de refração obtidos pela lei de Snell e substituindo-os na equação dos fabricantes de lentes espessas. As distâncias focais para as cores violeta e vermelha foram calculadas e comparadas aos valores obtidos a partir das fotografias dos ensaios experimentais.

Ao longo do trabalho, são apresentados todos os procedimentos de fabricação e os testes de qualidade balizados pela Óptica Geométrica.

2. Planejamento e processos de fabricação dos dispositivos ópticos

Os dispositivos ópticos escolhidos para fabricação são a lente convergente cilíndrica e os dióptros prismáticos triangulares e retangulares. Primeiramente, eles são planejados no AutoCAD 2024 [4], com todas as dimensões bem definidas. Por exemplo, a lente convergente não delgada foi projetada conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Desenho da lente convergente não delgada realizado no AutoCAD [4]. Todas as medidas estão em mm



Fonte: Arquivos dos autores, 2025.

Os desenhos dos elementos ópticos utilizados são compartilhados com a equipe de pesquisadores para orientá-los na programação do CNC a laser, de modo a prever e minimizar possíveis problemas que o material possa enfrentar devido à alta temperatura na faixa de corte.

A lente convergente espessa e os dióptros prismáticos triangulares e retangulares são usinados no CNC, conforme mostrado na Figura 1(a). Um feixe de laser incide sobre o acrílico por meio de um canhão instalado no interior do CNC, conforme mostrado na Figura 3.

Figura 3 – Emissor de um feixe de laser cortante, instalado no interior da máquina CNC



Fonte: Arquivos dos autores, 2025.

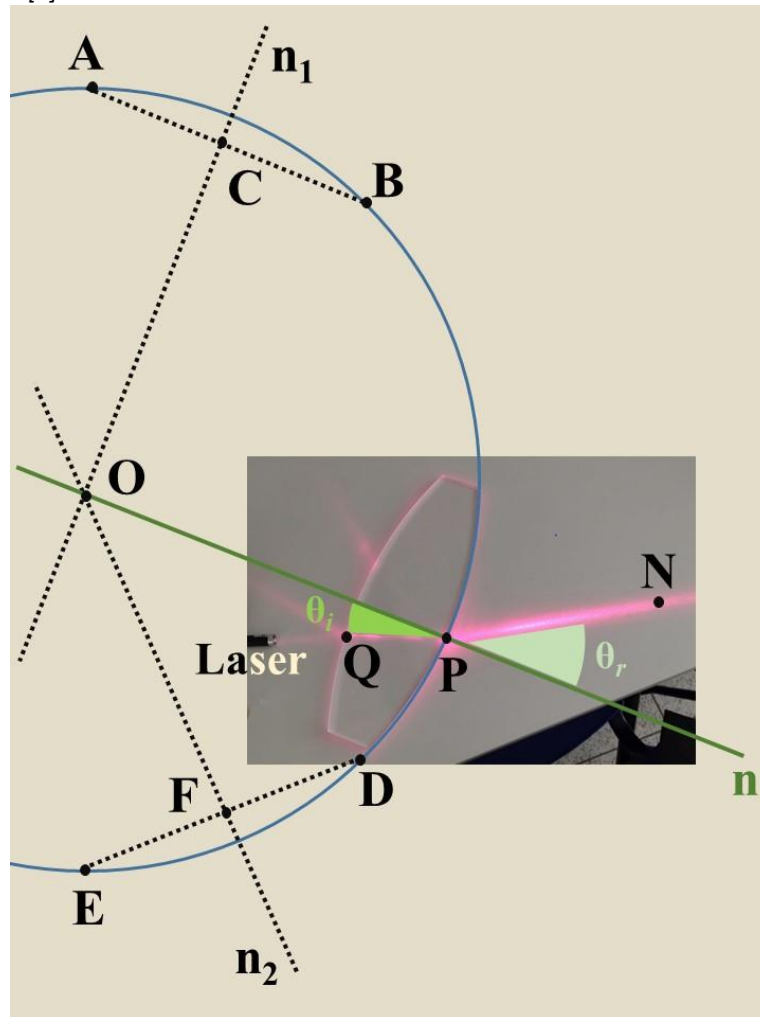
O corte é realizado conforme a programação computacional inserida no CNC. Existe uma velocidade ótima de corte, na qual o feixe de laser produz superfícies lisas e transparentes, complementada pelo trabalho de polimento realizado no laboratório de metalografia. Um avanço do feixe de laser abaixo dessa velocidade resulta na queima do material acrílico. Por outro lado, uma velocidade de avanço superior ao valor ótimo resulta na formação de bolhas e de rugosidades excessivas.

Após a fabricação dos dispositivos ópticos, o conceito físico de refração da luz é utilizado para avaliar a qualidade da usinagem. A lei de Snell será utilizada para esse fim e os testes de qualidade serão aplicados a todos os dispositivos confeccionados. Para a lente convergente não delgada, a equação dos fabricantes de lentes também será utilizada para determinar seu foco, como meio de conferência da qualidade do corte e do polimento.

3. Lei de Snell e a equação de fabricantes de lentes espessas

O fenômeno óptico da refração pode ser compreendido por meio da ilustração na Figura 4.

Figura 4 – Fotoanálise do fenômeno de refração no ponto de incidência P de uma lente convergente não delgada, realizada no AutoCAD [4]



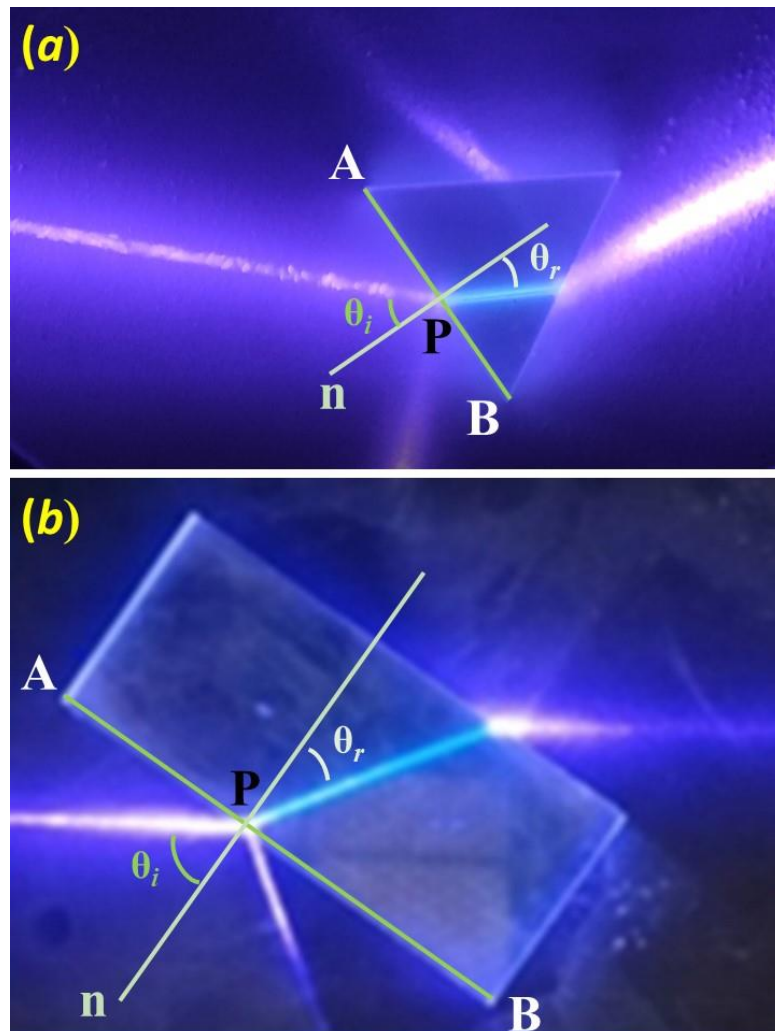
Fonte: Arquivos dos autores, 2025.

O ponto P na figura 4 é o denominado ponto de incidência do raio luminoso, após atravessar o material acrílico e transparente. O segmento $\overline{QP}$ representa o raio incidente em P ; e o segmento $\overline{PN}$ representa o raio refratado para o ar. A reta perpendicular à superfície da lente no ponto P é a reta normal n , que serve de referência para a determinação dos ângulos (θ_i, θ_r) de incidência e de refração. Os índices de refração do material são determinados usando lasers nas cores violeta (t) e vermelha (e) e são representados, respectivamente, por n_t e n_e . Adotando n_{ar} como índice de refração do ar, o fenômeno de refração ilustrado na Figura 4 é descrito matematicamente pela Equação (1).

$$n_{t,e} = \left[\frac{\sin(\theta_r)}{\sin(\theta_i)} \right] n_{ar} . \quad (1)$$

A Equação (1) é a conhecida lei de Snell e, nesse trabalho, sempre será utilizada a boa aproximação $n_{ar} \cong 1$. Essa lei se aplica a qualquer dispositivo óptico usado em qualquer geometria. Por exemplo, o dispositivo óptico da Figura 4 é uma lente cilíndrica espessa e os dióptros mostrados na Figura 5 são prismáticos (a) triangular e (b) retangular.

Figura 5 – Fotoanálise do fenômeno da refração no ponto de incidência P nos dióptros prismáticos (a) triangular e (b) retangular, realizada no AutoCAD [4]



Fonte: Arquivos dos autores, 2025.

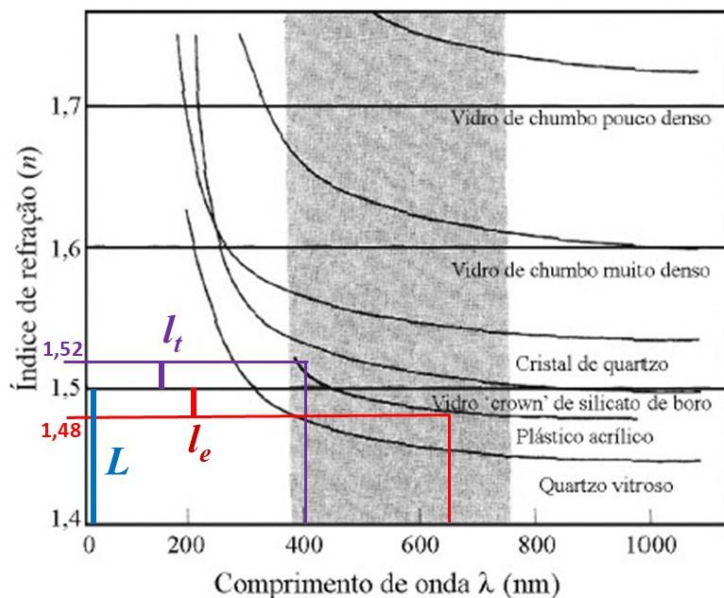
Os dois quadros da Figura 5 ilustram o fenômeno de refração no ponto P . A construção da reta normal n é a mesma em cada quadro, determinando os ângulos de incidência e de refração. Os fenômenos de refração apresentados na Figura 5 são governados pela lei de Snell, escrita de forma ligeiramente diferente da Equação (1), conforme pode ser verificado na Equação (2).

$$n_{t,e} = \frac{\text{sen}(\theta_i)}{\text{sen}(\theta_r)} . \quad (2)$$

A Equação (1) descreve o fenômeno de refração quando o ângulo de incidência está no meio acrílico e o raio refratado no ar. A Equação (2) descreve o fenômeno de refração quando o raio incidente está no ar e o raio refratado no meio acrílico.

Os valores médios experimentais dos índices de refração em cada comprimento de onda permitem identificar o material na Figura 6 com base em construções geométricas [5]. Identificado o material, seu valor experimental de referência pode ser obtido no artigo de Sultanova, Kasarova e Nikolov [6].

Figura 6 – Gráfico do índice de refração de alguns materiais em função do comprimento de onda da luz incidente

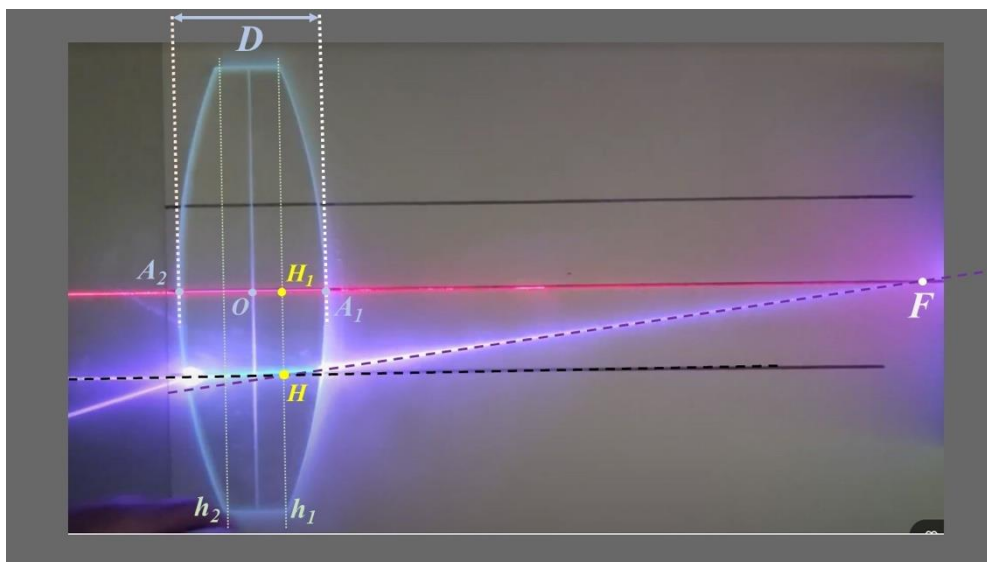


Fonte: Hecht [5].

Para identificar o material transparente, utilizamos o trabalho de Hecht [5], a partir do qual foi retirada a Figura 6, que apresenta os gráficos dos valores do índice de refração de alguns materiais em função do comprimento de onda da luz incidente. O par (λ, n) corresponde a um ponto do plano na Figura 6 e, conforme a sua posição, o material utilizado na usinagem de um dispositivo óptico pode ser identificado.

Para a lente convergente não delgada, é possível determinar sua distância focal a partir da fotografia do ensaio e da equação dos fabricantes de lentes não delgadas. As duas maneiras são melhor compreendidas considerando a Figura 7.

Figura 7 – Análise geométrica da lente espessa e de seus parâmetros característicos. Utilizou-se o programa AutoCAD [4]



Fonte: Arquivos dos autores, 2025.

A lente espessa mostrada na Figura 7 tem espessura $D = \overline{A_1A_2}$, uma de suas principais características. Outra novidade destacada em relação às lentes delgadas é a medida da distância focal $f = \overline{H_1F}$, que não é mais realizada a partir do centro O da lente. A reta vertical h_1 é aquela construída perpendicularmente ao eixo principal, colorido na cor vermelha, que passa pelo ponto H e serve como referência para a medida da distância focal. O ponto H é obtido através do cruzamento dos prolongamentos dos raios incidente e emergente da lente. O ponto H_1 é determinado pela reta vertical, no seu cruzamento com o eixo principal. A reta vertical h_2 é construída simetricamente à reta h_1 , em relação ao eixo de simetria vertical que passa pelo ponto O e divide a lente em duas partes iguais.

A equação dos fabricantes para as lentes espessas [3, 5] utilizada nesse trabalho é escrita na forma

$$\frac{1}{f} = (n_{t,e} - 1) \left[\frac{2}{R} - \frac{(n_{t,e} - 1)}{n_{t,e}} \frac{D}{R^2} \right], \quad (3)$$

onde $n_{t,e}$ é o índice de refração para o raio incidente e R é o raio de curvatura das duas faces da lente convergente cilíndrica, que foi definido e apresentado na Figura 4 e cujo valor é mostrado na Figura 2.

4. Fotoanálise

É de conhecimento geral que a metodologia contemporânea prevê o uso de novas tecnologias para facilitar a compreensão e o aprendizado [7]. Em Física, essa metodologia é materializada, por exemplo, pela prática da fotoanálise, reconhecida como um método pedagógico para a obtenção de dados experimentais [8]. Na Óptica Geométrica, a fotoanálise é fundamental para promover uma mudança no ensino de Física, nas disciplinas básicas dos cursos de engenharia e das demais ciências exatas. Uma fotografia de qualidade da experiência pode se tornar uma ferramenta valiosa para a obtenção de dados experimentais. Alguns exemplos serão apresentados a seguir, e a análise das imagens será realizada em detalhes.

Nesse trabalho, a fotoanálise utiliza formas geométricas e seus movimentos para coletar dados experimentais, que são empregados em equações para determinar o valor experimental de um parâmetro físico específico. Para os dispositivos ópticos, tais como lentes e dióptros, a principal grandeza a ser determinada é o índice de refração, especificamente para os raios de cores violeta e vermelha. Para obter esses valores, são necessárias as medidas dos ângulos de incidência e de refração por meio da fotoanálise, que são substituídos nas Equações (1) ou (2).

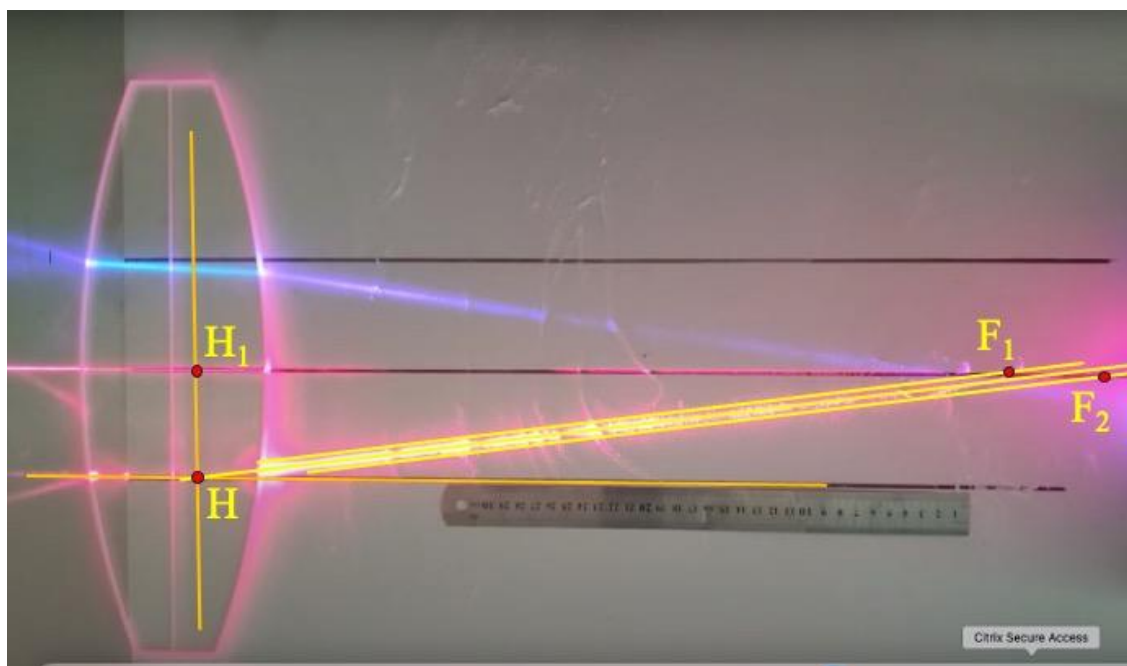
A fotoanálise da lente é iniciada com uma fotografia da experiência e com um programa de análise da imagem, conforme mostra a Figura 4. O ponto P é aquele onde o raio de incidência chega (segmento $\overline{QP}$) e o raio refratado sai (segmento $\overline{PN}$). O valor da espessura D é conhecido a priori e é mais bem visualizado na Figura 7, cujo valor é previsto no projeto apresentado na Figura 2 e confirmado experimentalmente com a utilização de um paquímetro ($D = 12,20$ cm). Essa distância é utilizada como um padrão de medição pelo programa de análise de imagens (bastão de medição) e usada como uma regra de proporcionalidade pela qual toda medida real é determinada. Na figura 4, é mostrada uma circunferência que passa pelos pontos (A, B, P, D, E) , construída com o recurso das formas pré-existentes no programa escolhido para análise. Considerando os pontos A e B na circunferência, o segmento $\overline{AB}$ é então desenhado. Uma cópia dele é materializada e girada perpendicularmente ao próprio segmento $\overline{AB}$. Em seguida, essa cópia é movida para passar pelo ponto médio C (mediatriz n_1). O mesmo procedimento é realizado para os pontos D e E e, assim, a mediatriz n_2 é determinada, passando pelo ponto F. A intersecção entre as retas n_1 e n_2 determina o centro da circunferência O. O raio $R = \overline{OP}$ é obtido pela fotoanálise e seu valor é comparado ao

previsto no projeto de construção apresentado na Figura 2. A reta que passa pelos pontos O e P é a reta normal n , que servirá de referência para a determinação dos ângulos de incidência e refração. Girando a reta normal n até ela ficar paralela ao raio incidente, que percorre o seguimento $\overline{QP}$, o valor experimental do ângulo de incidência θ_i é determinado. Retornando a reta normal ao seu lugar original, realiza-se um novo giro até que ela fique paralela ao raio refratado que sai do ponto P e passa pelo ponto N . Dessa forma, o valor experimental do ângulo refratado θ_r também é determinado pela fotoanálise.

A determinação dos ângulos incidente e refratado para os dioptros também é obtida por fotoanálise, porém por um procedimento um tanto diferente do da lente, devido da simetria prismática triangular ou retangular. O ponto de incidência P é identificado nas imagens dos dioptros, conforme mostrado na Figura 5. Desenhando o segmento $\overline{AB}$ nas respectivas arestas dos dioptros triangular e retangular que contêm o ponto de incidência P , pode-se criar uma cópia do segmento $\overline{AB}$ e rotacioná-la para ficar perpendicular ao segmento original $\overline{AB}$. Essa cópia é a denominada reta normal n , que é a referência para a determinação dos ângulos de incidência e refração. Usando duas vezes a ferramenta girar para a reta normal, até que ela esteja paralela ao raio incidente e depois paralela ao raio refratado, os valores dos ângulos (θ_i, θ_r) são obtidos.

Para a lente convergente mostrada na Figura 7, as características geométricas anteriormente identificadas são obtidas ao representar o feixe de luz por uma reta. Isso é vantajoso quando se deseja determinar os pontos principais e identificar os raios. Na realidade, o valor experimental da distância focal é composto por um valor médio e por uma incerteza associada. O valor médio é determinado conforme mostrado na Figura 7, no segmento $\overline{H_1F}$. A incerteza experimental é obtida considerando a espessura do feixe, conforme mostrado na Figura 8.

Figura 8 – Análise de imagem da lente espessa convergente para determinação da incerteza experimental da distância focal. Utilizou-se o programa AutoCAD [4]



Fonte: Arquivos dos autores, 2025.

A análise de imagem mostrada na Figura 8 é realizada no feixe de luz vermelha emergente. A incerteza da distância focal é determinada pela metade da distância $\overline{F_1F_2}$, onde os pontos F_1 e F_2 são determinados pelo cruzamento do eixo principal com as duas retas paralelas que delimitam a espessura do feixe. O mesmo procedimento é realizado para o feixe de luz violeta.

5. Resultados experimentais e análises

Os resultados apresentados na Tabela 1 são obtidos por meio da análise de imagens e da lei de Snell-Descartes. Eles se referem aos ensaios realizados com os dióptros triangular e retangular e com uma lente convergente não delgada.

Tabela 1: Valores experimentais do índice de refração obtidos pela lei de Snell

Laser		Valores experimentais do índice de refração do acrílico	
cor	$\lambda(\text{nm})$	Dióptros	Lente convergente não delgada
violeta	405	$(1,52 \pm 0,01)$	$(1,53 \pm 0,07)$
vermelha	650	$(1,48 \pm 0,02)$	$(1,49 \pm 0,09)$

A Tabela 1 apresenta os resultados experimentais dos valores do índice de refração do acrílico obtidos por dois experimentadores. O primeiro obteve os valores apresentados na terceira coluna, trabalhando com dióptros triangular e retangular. O outro experimentador realizou seus ensaios com uma lente convergente não delgada e seus resultados podem ser conferidos na última coluna da Tabela 1. São notáveis os valores menores de incerteza nos dióptros do que os obtidos na lente convergente não delgada. Vale mencionar que a quantidade de construções geométricas realizadas na fotoanálise para a lente é maior do que para os dióptros, o que resulta em maior propagação de incertezas na lente. Para complementar, os valores médios apresentados na Tabela 1 foram obtidos a partir de diversas análises de imagem da mesma fotografia.

Como exemplo, tomemos os valores do índice de refração obtidos para os dióptros, cujos pares são $(\lambda; n) = (405; 1,52)$ e $(\lambda; n) = (650; 1,48)$. Esses pares estão representados como pontos de cruzamento no gráfico da Figura 6 e são identificados pelo seguinte procedimento: o segmento de reta azul, paralelo e mais próximo do eixo vertical, é aquele de tamanho dado pelo gráfico com o valor $L = 0,1$. Utilizando o programa Microsoft Powerpoint [9] para manipular a imagem, o valor de L no programa é de 3,80 cm. Ainda na Figura 6, a barrinha vermelha paralela ao eixo vertical é aquela em que o valor no gráfico deve ser de $l_e = 0,02$. Por proporcionalidade, obtém-se o tamanho da barrinha vermelha no software, dado por $\frac{(0,02) \cdot (3,80)}{(0,1)} = 0,76$ cm. A barrinha vermelha é então alocada abaixo da reta que passa pelo ponto $n = 1,5$. Uma reta vermelha horizontal que passa pelo valor $n = 1,48$ é desenhada, conforme mostrado na Figura 6. A reta horizontal violeta é construída de forma análoga. As retas verticais que passam pelos pontos $\lambda(\text{nm}) = 405$ e $\lambda(\text{nm}) = 650$ são desenhadas, depois de determinadas as suas posições no gráfico $(\lambda; n)$, usando a proporcionalidade. Finalmente, os pontos podem ser encontrados pelo cruzamento das retas vertical e horizontal, conforme mostrados na Figura 6. Eles estão muito próximos da curva que descreve os valores do índice de refração do material **plástico acrílico**, que é identificado visualmente e coincide com o escolhido para usar os dióptros e a lente.

Os dois valores experimentais de cada cor do laser podem ser usados para determinar um único valor experimental por meio de uma média ponderada pelo inverso do quadrado das incertezas. Os valores finais estão na Tabela 2.

Tabela 2: Valores experimentais finais do índice de refração obtidos pela lei de Snell

Cor	$\lambda(\text{nm})$	n
Violeta	405	$(1,52 \pm 0,01)$
Vermelha	650	$(1,48 \pm 0,02)$

Os valores finais dos índices de refração para as cores violeta e vermelha, combinados com o raio de curvatura da lente ($R = 50 \text{ cm}$), são substituídos na Equação (3), e o resultado fornece uma medida indireta da distância focal da lente não delgada. Essa distância focal é comparada à obtida da fotoanálise da imagem mostrada nas Figuras 6 e 7, por meio do fator Z. Todos os resultados foram organizados na Tabela 3.

Tabela 3: Valores experimentais finais da distância focal da lente convergente

Cor	Distância focal $f(\text{cm})$		Fator $Z = \left \frac{f - f_L}{\sigma_f} \right $
	Fotoanálise (f)	Equação dos fabricantes de lentes (f_L)	
Violeta	(45 ± 3)	49,2	1,4
Vermelha	(54 ± 3)	53,2	0,3

Os valores experimentais obtidos por fotoanálise são apresentados na segunda coluna da Tabela 3. Na terceira coluna, foram alocados os valores obtidos para a distância focal, utilizando a equação dos fabricantes de lentes (Equação (3)). Os dois conjuntos de valores obtidos para a distância focal são comparados estatisticamente pelo cálculo da diferença entre eles, expressa em número de desvios-padrão experimentais (fator Z). O aceitável satisfará a condição $Z < 3$, assim como o valor do índice de refração da fotoanálise para ambas as cores utilizadas nesse experimento. Os baixos valores do fator Z observados para ambas as cores indicam a boa qualidade da usinagem e do polimento dos dióptros e da lente. No entanto, há claramente espaço para reduzir os valores de incerteza na fotoanálise, por meio do uso de programas mais específicos de análise de imagem ou da redução da espessura dos feixes de luz.

6. Comentários finais

Esse trabalho trata da fabricação de dióptros triangulares e retangulares, bem como de uma lente convergente, simétrica e não delgada. A qualidade da usinagem foi aferida por meio da Lei de Snell da Óptica Geométrica. Foi realizada a fotoanálise do experimento de refração, no qual foram coletados os ângulos de incidência e de refração. Esses valores foram substituídos nas Equações (1) ou (2) e, assim, obtêm-se os valores do índice de refração do acrílico para as cores vermelha e violeta dos raios de luz.

Para o aprimoramento do experimento, um primeiro passo seria a construção de um banco óptico adequado, com fonte de luz a laser paralela ao eixo principal e com distância vertical regulável. Isso permitiria refazer o experimento no plano vertical, reduzindo as imprecisões na experimentação por meio de coletas fotográficas em visão lateral.

Vale ressaltar que a metodologia da fotoanálise permanece a mesma para qualquer tipo de lente convergente ou dióptro, desde que sejam fabricados com materiais transparentes. Concluímos que a prática de ensino que utiliza a fotoanálise vai além da mera análise de

imagens. O termo “fotoanálise” foi cunhado propositalmente para indicar que as análises de imagens servem para coletar dados experimentais e determinar um valor experimental de um parâmetro físico relevante. Para isso, uma lei física é considerada ou, em última análise, uma equação matemática é utilizada. Isso implica que, se essa equação modela corretamente o fenômeno, o valor experimental do parâmetro físico obtido pela fotoanálise pode ser considerado um representante legítimo dessa grandeza.

O trabalho aqui desenvolvido soma-se a outras propostas de construção de dispositivos ópticos utilizados nos laboratórios didáticos de Física [10], contribuindo para o aumento dos estudos de Óptica Geométrica [11].

7. Referências

- [1] Dyomin, V. V., & Polovtsev, I. G. (2007). Educational kit for optical experiments. *Proc. ETOP 2007*, 310-320. Disponível em: <https://spie.org/Documents/ETOP/2007/etop07explX.pdf> Acesso em: 10/06/2026.
- [2] Nussenzveig, H. M. (2014). *Curso de física básica: Ótica, relatividade, física quântica (vol. 4)*. Editora Blucher.
- [3] Pionório, N., Rodrigues Jr, J. J., & Bertuola, A. C. (2008). Correções da aberração cromática no contexto da óptica geométrica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 30, 3315-1. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172008000300015>
- [4] Autodesk (2024). *AutoCAD®*: software. Versão 2024. San Rafael: Autodesk, Inc.
- [5] Hecht, E. (2002). *Óptica. 2ª edição*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- [6] Sultanova, N., Kasarova, S., & Nikolov, I. (2009). Dispersion properties of optical polymers. *Acta Physica Polonica A*, 116(4), 585-587. Disponível em: <http://przyrbwn.icm.edu.pl/APP/PDF/116/a116z442.pdf> Acesso em: 10/06/2026.
- [7] Henriques, V. B., Prado, C. P., & Vieira, A. P. (2014). Editorial convidado: aprendizagem ativa. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 36(4), 01-02. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172014000400001>
- [8] Dantas, C. A. A. (2022). *Uma proposta para o ensino do movimento retilíneo uniforme utilizando fotoanálise e videoanálise*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/bitstreams/8f90de9b-93de-4f30-bb85-84a21eaf32bd/download> Acesso em: 10/06/2026.
- [9] Microsoft Corporation (2026). *PowerPoint*. Versão Microsoft 365. Redmond: Microsoft.
- [10] Vuolo, J. H.; Furukawa, C. H. (1999). Modelos de componentes ópticos em resina. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 21(2), 280-288. Disponível em: https://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v21_280.pdf Acesso em: 10/06/2016.
- [11] Ribeiro, J. L. P., & Verdeaux, M. D. F. D. S. (2012). Atividades experimentais no ensino de óptica: uma revisão. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 34(4), 4403. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172012000400021>