

APLICAÇÃO DE UMA ATIVIDADE EXPERIMENTAL SOBRE ÓPTICA GEOMÉTRICA UTILIZANDO A VIDEOANÁLISE NO ENSINO A DISTÂNCIA

Giovana da Silva Cardoso¹, Lucas Sigaud², Germano Malioli Penello³, Wagner Moreira⁴, Katherine Maslova⁵, Vitor Luiz Bastos de Jesus⁶

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ)/
giovana.cardoso@ifrj.edu.br

²Universidade Federal Fluminense (UFF)/Instituto de Física/lsgaud@id.uff.br

³Universidade de São Paulo (USP)/Instituto de Física/gpenello@if.usp.br

⁴Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)/Instituto de Física/wagner.fisica.ufrj@gmail.com

⁵Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)/Instituto de Física/katherinedefante@gmail.com

⁶Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ)/vitor.jesus@ifrj.edu.br

Resumo

A videoanálise permite a investigação de experimentos de física que antes seriam difíceis de serem realizados por equipamentos didáticos tradicionais, a partir da exploração de quadros (frames) de vídeos, obtendo dados de posição como função do tempo. Para este estudo, apresentamos os resultados de uma atividade avaliativa experimental a distância utilizando a videoanálise no estudo de óptica geométrica, especificamente o conteúdo da refração da luz. Esta foi aplicada aos estudantes dos cursos de licenciaturas em biologia, física, matemática, química, engenharias de produção e meteorológica inscritos na disciplina de Introdução às Ciências Físicas I do Centro de Educação Superior a Distância do Estado do Rio de Janeiro (CEDERJ). A atividade é composta de um vídeo e questões para que os estudantes identifiquem e meçam os raios de luz incidente, refletido e refratado, meçam os ângulos de incidência, reflexão e refração, e calculem o índice de refração da lente semicircular utilizando a razão entre o seno do ângulo de incidência e o seno do ângulo de refração. Parte das avaliações realizadas pelos estudantes foram selecionadas, discutidas e apresentadas como resultado deste trabalho. A versatilidade da atividade permite sua adaptação para diferentes níveis de ensino, desde o ensino médio até a educação superior, tornando-se uma ferramenta útil para futuros professores de física que desejam integrar práticas experimentais com o uso de tecnologias digitais em suas estratégias pedagógicas, ou que porventura não tenham acesso a um laboratório de óptica em sua instituição.

Palavras-chave: ensino a distância, videoanálise, óptica geométrica.

Introdução

Este trabalho visa descrever uma atividade avaliativa de óptica geométrica usando a videoanálise para cursos na modalidade a distância. A utilização dessa ferramenta ocorre há duas décadas no ensino de física, mas poucos trabalhos foram publicados sobre práticas de ensino de óptica geométrica. Por exemplo, Maslova e Pérez (2019) construíram um banco óptico para estudar a difração da luz em fendas únicas e duplas utilizando a videoanálise, e Silva et al. (2024) aplicaram uma atividade sobre o

Princípio de *Fermat* em duas turmas do ensino médio. Além desses, Oliveira e De Jesus (2022) abordaram as vantagens das tecnologias baseadas em vídeos para a realização de atividades experimentais e para a compreensão de conceitos de óptica. As pesquisas de Rodrigues e Carvalho (2014) e de Oliveira e De Jesus (2022) trouxeram contribuições para este campo e abordaram as vantagens das tecnologias baseadas em vídeos para a realização de atividades experimentais e para a compreensão de conceitos de óptica. Por isso, neste estudo, foi utilizada a videoanálise no contexto da óptica geométrica para uma atividade experimental.

A utilização de atividades experimentais favorece a interação entre os estudantes e o professor, além de proporcionar experiências práticas de conceitos físicos apresentados na teoria (Couto, 2009). Além disso, pode oferecer ao aluno um maior contato com a realidade e o conteúdo escolar, além de permitir que ele seja protagonista na aprendizagem (Benfica e Prates, 2020). Outros exemplos de atividades experimentais no ensino de física são as que exploram materiais de baixo custo e as que usam as Tecnologias Digitais de Comunicação e Informação (TDIC) (De Jesus e Sasaki, 2014; Maslova e Pérez, 2019), que são consideradas fortes aliadas para o processo de ensino-aprendizagem nas diversas áreas do conhecimento (Lapa e Belloni, 2012).

Materiais e métodos

O vídeo¹ a ser utilizado foi gravado usando um goniômetro de base móvel, uma lente semicircular e um feixe de luz branca. Para a gravação, o laboratório foi mantido à meia-luz para permitir a leitura dos ângulos registrados no goniômetro e, ao mesmo tempo, permitir que os raios de luz da fonte permanecessem visíveis. Com isso, o aparato experimental foi parcialmente isolado da luz ambiente, como pode ser visto na Figura 1, onde o *smartphone* foi posicionado embaixo da cobertura escura, paralelo ao plano do goniômetro.



Figura 1: Montagem do experimento para filmagem. O *smartphone* foi posicionado embaixo da cobertura escura, paralelo ao plano do goniômetro.

A filmagem foi feita com vista superior do experimento, utilizando um suporte para o *smartphone*. O vídeo disponibilizado para os estudantes pode ser analisado utilizando

¹ Disponível em <https://youtu.be/Szf17T3o1vk>

qualquer programa de visualização de vídeos. Um quadro (*frame*) do vídeo pode ser visto na Figura 2, à esquerda.

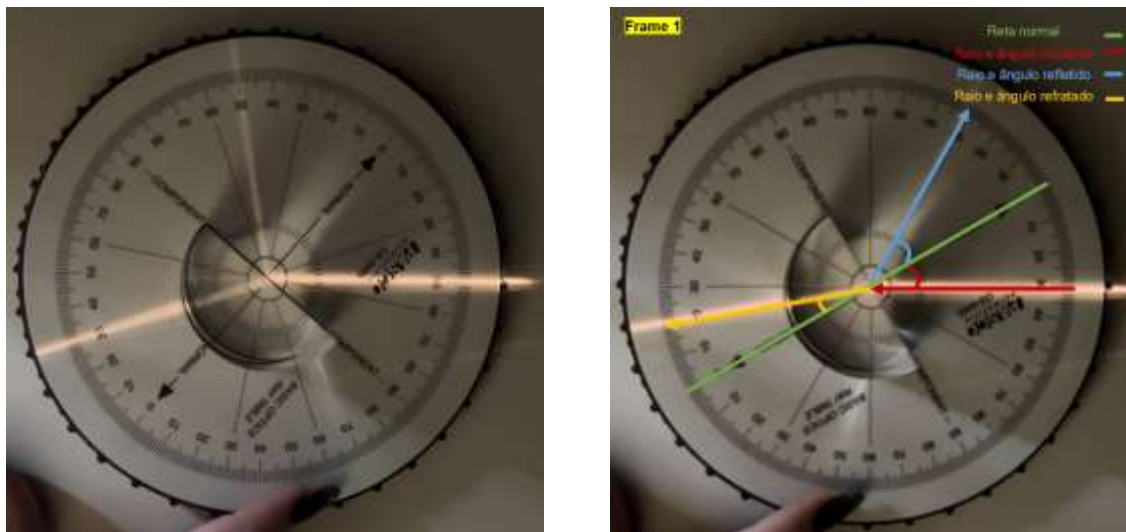


Figura 2: Esquerda: Um *frame* retirado do vídeo disponibilizado para os alunos. Direita: Uma possível resolução da primeira questão da Atividade a Distância.

Descrição da atividade

A Avaliação a Distância (AD) foi baseada em um experimento obrigatório, realizado em laboratório nos polos, presencialmente, com os estudantes da disciplina de Introdução às Ciências Físicas (ICF1) e tutores presenciais. Foi planejada para fazer parte das avaliações formativas a distância da disciplina (Sarmiento, Penello e Sigaud, 2020) e avaliar os conhecimentos dos estudantes sobre a reflexão e a refração da luz após as atividades laboratoriais. Tanto o vídeo quanto as questões da AD foram disponibilizados aos estudantes no Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA) de ICF1, bem como as instruções de envio e prazos.

A disciplina de ICF1 é ofertada para os cursos de licenciaturas em biologia, física, matemática e química, e engenharias de produção e meteorológica do Centro de Educação Superior a Distância do Estado do Rio de Janeiro (CEDERJ) e aprofunda o conteúdo de física abordado no ensino médio, propondo atividades experimentais que busquem a reflexão sobre o método científico, além da observação dos fenômenos, a relação de ideias e a construção de analogias para a produção de conhecimento em física (Almeida; Barroso; Magalhães, 2009).

A atividade foi dividida em oito questões e planejada de modo que a compreensão do conteúdo fosse construída ao longo do questionário. Na primeira questão da atividade, esperávamos que os estudantes demonstrassem compreensão sobre a base conceitual necessária para o entendimento do conteúdo, reconhecendo a reta normal, os raios incidentes, refletidos e refratados, e seus ângulos. Neste momento inicial, não era necessário realizar medições ou cálculos, apenas fazer um desenho esquemático. Como o vídeo foi disponibilizado aos estudantes sem cortes, eles tinham a autonomia para escolher os ângulos de incidência que preferissem, de acordo com os *frames* selecionados do vídeo. Se o estudante escolhesse um *frame* no final do vídeo, em que só é possível visualizar os raios incidente e refletido, percebe-se que o estudante não compreendeu o que foi solicitado. Nessa parte do vídeo, o feixe sofre reflexão

total e não há feixe refratado. Almejava-se uma resposta como a Figura 2, à direita. Ressaltamos que, caso o estudante preferisse, também era possível baixar o vídeo, imprimir um *frame* dele mantendo a escala e fazer as anotações a mão. Os estudantes foram informados que, caso a imagem fosse impressa, a escala precisaria ser mantida.

Na segunda questão, foi pedido aos estudantes que realizassem uma leitura quantitativa dos ângulos solicitados, utilizando o *frame* escolhido anteriormente, assim como as respectivas incertezas e justificativas. Os estudantes que não identificassem corretamente os raios e ângulos da questão anterior possivelmente não resolveriam esta questão com êxito. A discussão que esperávamos neste momento era sobre os critérios que os estudantes utilizaram para a determinação da incerteza. O fato dos raios incidente, refletido e refratado possuírem espessuras diferentes seria uma possível justificativa para estimar as incertezas da medição, não necessariamente iguais entre si.

Na questão 3, o estudante deveria utilizar os dados obtidos na questão anterior para calcular o índice de refração da lente utilizada, assim como a incerteza associada. As equações para o cálculo da incerteza para este caso são apresentadas no material didático do estudante.

As questões 4 e 5 são similares às questões 1 e 2, respectivamente. Porém, solicitou-se que as medidas fossem refeitas mais três vezes, cada uma com um ângulo diferente. As questões 1 e 2 tinham a expectativa de que o estudante construísse o conhecimento passo-a-passo e de que identificássemos em qual ponto houve dificuldade. Por exemplo, se o estudante não realizou a primeira questão, não há compreensão suficiente para fazer as outras. Se os estudantes não conseguiram resolver a segunda questão corretamente, pode ter havido uma dificuldade na leitura de ângulos ou no entendimento das incertezas. Caso a terceira questão não tenha sido resolvida corretamente, então houve dificuldades com os cálculos matemáticos, apesar da compreensão do conceito físico e da medição correta dos ângulos.

Na questão 6, os estudantes deveriam produzir um gráfico e reconhecer que a relação entre o ângulo de incidência e o ângulo de reflexão é uma função identidade, respeitando a proporção constante entre esses ângulos, como previsto pela Lei da Reflexão. Já na questão 7, eles deveriam perceber que o resultado da disposição dos valores dos senos dos ângulos de incidência e de refração em um gráfico, produzido por eles, resultaria em uma reta. Isto ocorre, naturalmente, porque a Lei de Snell-Descartes estabelece uma relação diretamente proporcional entre os senos desses ângulos. Nessas questões, era esperado que ocorressem dois tipos de dificuldades: o estudante poderia não saber fazer um gráfico e/ou não saber interpretá-lo. Essas dificuldades seriam independentes das outras questões que o estudante deveria realizar.

Resultados e discussão

Para a análise das oito questões, optamos pelo uso de códigos a fim de identificar os erros, conforme a Tabela 1. A partir disso, elaboramos a Tabela 2, elencando nove colunas para cada estudante – identificados com números para preservar o anonimato – com informações sobre os erros cometidos e a respectiva nota final na atividade. Como há questões semelhantes entre si - a saber, os pares 1 e 4, 2 e 5, 3 e 8, e 6 e 7 - os resultados foram analisados simultaneamente.

Tabela 1: Tipos de erros associados às questões.

Erro	Legenda
conceitual	c
incerteza	t
arredondamento	a
leitura dos ângulos	l
gráfico	g
cálculo do índice de refração	n
nomeação dos raios	w
não pontuou	o
sem marcação da reta normal	h
sem marcação dos ângulos	s
sem marcação dos raios	r
justificativa errada	j

Aluno	Nota	Q. 1	Q. 2	Q. 3	Q. 4	Q. 5	Q.6	Q. 7	Q.8
1	8,6	w			w		g	g, j	
2	7,4		i			i	g, j	g, j	0
3	6,6	w			w		g, j	g	0
4	8,8		i			i			i
5	7,2	s	i		i	i		g	i
6	3,1	s	i	i, n	s	i	0	0	0
7	2,7	s	0	n	s	i	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	10								
10	3,4	s	i	i	s	i	0	0	i
11	5,9		i	a		i	0	j	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	10								
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	1,1	s, h, 0, w	i, j	a	s, h, 0, w	i, j	0	0	a
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	7,5	w		a	w		c	c	a
18	5,5		j	a		j	0	0	a
19	8,6	a	i	a	a	j			a
20	4,2	0	i, j	a	0	i, j	c	c	a
21	1,7	0, c	i	a	0, c	i	0	0	a
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	3,2	h, r, 0	i	a	h, r, 0	i	g	0	a
24	7,4	r	i	a	r	i			a
25	4,8	w	i	a	w	i	c	c	a
26	5,6		i	a		i	c	c	a
27	4,4	s	i	a	s	i	g	g, c	a
28	3,7	s	i	a	s	i	g	0	a
29	4,2	w	i	a	w	i	0	0	a
média	4,7								

Tabela 2: Erros cometidos por questão para cada atividade avaliada

As questões 1 e 4 tinham um caráter qualitativo e conceitual. Dos 29 estudantes avaliados, sete conseguiram fazer as questões conforme o que havia sido solicitado. Outros sete não pontuaram nestas questões, sendo que cinco destes não pontuaram a atividade como um todo. Os 15 alunos restantes deixaram de marcar raios e/ou ângulos.

Porém, ao analisar as questões 2 e 5 destes 15 estudantes, afirmamos que conseguiram respondê-las, mesmo apresentando erro de incerteza e/ou justificativa. Isso significa que os erros das questões 1 e 4 puderam ser interpretados como falta de atenção, acarretando esquecimento de desenhar e nomear raios e ângulos, ainda que as medidas dos ângulos das questões 2 e 5 tenham sido feitas corretamente. Assim, para a maioria dos estudantes da disciplina, que realizaram a atividade, a parte conceitual da física foi compreendida, mas, ainda assim, excetuando os estudantes que não pontuaram a atividade, os demais tiveram erros quanto à incerteza e/ou justificativa da incerteza da medição dos ângulos. Como esta atividade é aplicada para diferentes cursos e em diferentes momentos de formação, percebemos que a estimativa de incertezas precisa ser melhor discutida em tutorias e outras atividades.

Já nas questões 3 e 8, mais uma vez excetuando os estudantes que obtiveram zero pontos, apenas dois não conseguiram realizar o cálculo do índice de refração em ambas as questões, o que consideramos um erro matemático mais grave. Dos 29 estudantes, sete efetuaram pelo menos uma das questões por completo. Retirando estes sete e os que não pontuaram nada, 14 dos 15 estudantes restantes tiveram dificuldade quanto ao arredondamento da questão 3. Embora matematicamente o arredondamento seja conceitualmente simples, é possível imaginar que o erro dos estudantes não esteja de fato no arredondamento. Como estes estudantes tiveram dificuldades com as incertezas nas questões anteriores, a falha se propaga para estas questões, pois o arredondamento do número certo de casas decimais utilizadas dependia diretamente das incertezas obtidas para as medições dos ângulos

Por fim, para as questões 6 e 7, mesmo sem considerar os estudantes que não pontuaram a atividade, oito obtiveram zero pontos em pelo menos um dos gráficos, seis cometeram erros em, no mínimo, um gráfico e oito estudantes tiveram erros conceituais e/ou de justificativa. Ainda assim, cinco conseguiram realizar as duas questões por completo. Esses erros nos mostram que há áreas específicas onde os estudantes encontram dificuldades, indicando a necessidade de reforço ou revisão nos conceitos e habilidades relacionados à elaboração e interpretação de gráficos e justificativas conceituais.

Alguns trabalhos apontam que o uso de gráficos para explicar conceitos físicos é importante para os estudantes compreenderem os conteúdos abordados (Beichner, 1994; Agrello; Garg, 1999). Neste estudo, observamos que pelo menos uma parte dos estudantes não indicou as informações de um gráfico de dispersão, como evidenciado na Figura 3, à esquerda. Na mesma figura, à direita, o estudante não indicou os valores do seno do ângulo de incidência no eixo vertical e os valores dos senos dos ângulos de refração no eixo horizontal.

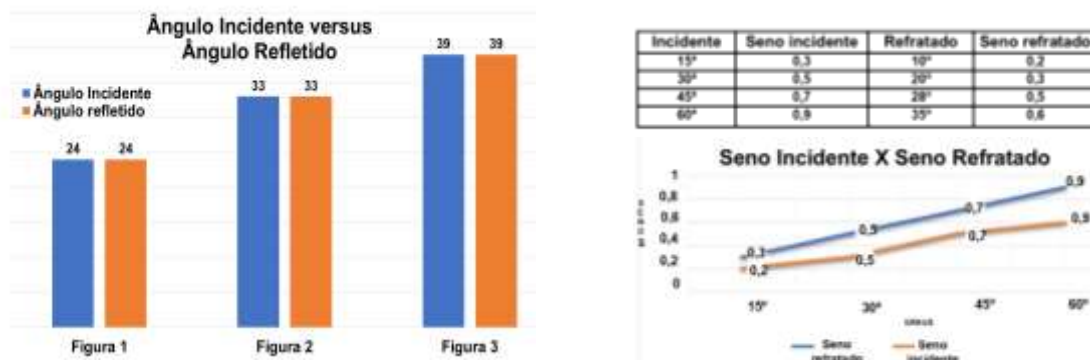


Figura 3: Esquerda: Gráfico da questão 6 do aluno 7. Outros alunos apresentaram erro semelhante. Direita: Gráfico da questão 7 do aluno 5

Entretanto, mesmo aqueles que fizeram corretamente os gráficos, tiveram alguma dificuldade ao extrair informações deles e justificar suas respostas, como pode ser visto na Tabela 2. A necessidade de utilizar as ferramentas de cálculos matemáticos (Okuno; Caldas; Chouw, 1982; Hewitt; 1998), pode ser considerada mais uma dificuldade apontada na realização das questões pelo estudante.

Considerações finais

Este trabalho permitiu aos estudantes realizar uma atividade experimental a distância para medir raios de luz incidente, refletido e refratado, além de calcular o índice de refração da lente semicircular.

Para os estudantes analisarem seus resultados de maneira aprofundada, solicitou-se que organizassem as informações em um gráfico, a fim de extrair as relações entre os ângulos de incidência e reflexão (Lei da Reflexão) e entre os senos dos ângulos (Lei de Snell-Descartes). Os resultados das correções das questões 1 e 4, nas quais os estudantes obtiveram mais pontos, estavam diretamente relacionados com as tarefas que observaram durante a prática de laboratório presencial da disciplina de ICF1. Isso sugere a possibilidade de que foi estabelecida uma relação entre a prática no laboratório e a atividade descrita neste texto. Por outro lado, os resultados das correções das questões 6 e 7 mostraram que alguns estudantes têm dificuldades fundamentais em apresentar dados em um gráfico, e mesmo aqueles que foram bem sucedidos nesta tarefa encontraram dificuldades em extrair informações do mesmo.

Em relação aos conceitos físicos, a maioria dos estudantes não apresentou falhas conceituais ao apontar e identificar os fenômenos físicos envolvidos nos processos da refração e reflexão da luz. No entanto, a qualidade das respostas decresce quando o formalismo matemático se torna necessário. As cinco maiores notas das avaliações analisadas são justamente as dos estudantes que responderam corretamente às questões 6 e 7, relativas a gráficos e interpretações, enquanto as menores notas são daqueles que demonstraram dificuldades com o ferramental matemático necessário para a realização da atividade.

Concluimos que a atividade proposta pode ser implementada em programas de ensino de óptica geométrica, tanto no ensino médio quanto superior, presencial ou à distância. Nesse relato temos o CEDERJ como foco por proporcionar uma dificuldade inerente ao ensino a distância, sendo o contato professor-estudante, e um número

grande de estudantes por semestre, criando um grande conjunto amostral que pode ser acompanhado ao longo de sucessivos períodos. No entanto, uma vez que seja uma prática experimental a ser feita individualmente e fora do ambiente de ensino por meio da videoanálise, pode ser implementada em outros contextos sem grandes modificações.

Referências

- AGRELLO, D. A.; GARG, R. Compreensão de gráficos de cinemática em física introdutória. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 21, n. 1, 1999.
- ALMEIDA, M. A.; BARROSO, M. F. MAGALHÃES, S. D. de. **Introdução às Ciências Físicas I**. 3.ed. Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2009.
- BEICHNER, R. Testing student interpretation of kinematics graphs. **American Journal of Physics**, v. 62. n. 8, 1994.
- BENFÍCA, K. F. G.; PRATES, K. H. G. As contribuições do uso de experimentos no ensino - aprendizagem de física. *Revista Brasileira de Desenvolvimento*, v. 6, n. 6, 2020.
- COUTO, F. P. **Atividades experimentais em aulas de física**: repercussões na motivação dos estudantes, na dialogia e nos processos de modelagem. Dissertação (Mestrado em Educação), Belo Horizonte, UFMG, 2009.
- DE JESUS, V. L. B. DE.; SASAKI, D. G. G. Vídeo-análise de um experimento de baixo custo sobre atrito cinético e atrito de rolamento. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 3, 2014.
- HEWITT, P. G. **Conceptual physics**. 8. d. Editora Addison Wesley, 1998.
- LAPA, A. B.; BELLONI, M. Educação a distância como mídia-educação. **Perspectiva**, v. 30, n. 1, 2012.
- MASLOVA, K.; PÉREZ, C. Construção de bancada óptica para difração de luz em janelas únicas e múltiplas de fácil acesso e utilização do rastreador como ferramenta de estudo. **Avanços no ensino de Física**, v. 1, n. 2, p. 52-65, jan. 2020.
- OKUNO, E.; CALDAS, I. L.; CHOW, C. **Física para ciências biológicas e biomédicas**. São Paulo, Harbra, 1982.
- OLIVEIRA, A. L.; DE JESUS, V. L. B. Geometrical Optics virtual laboratory by video analysis. In. XX IOSTE International Symposium. Recife. **Anais...Recife**, 2022.
- RODRIGUES, M.; CARVALHO, P. S. Teaching optical phenomena with Tracker. **Physics Education**. v. 49, n. 6, 2014.
- SARMIENTO, C. V.; PENELLO, G. M.; SIGAUD, L. Análise quantitativa do desempenho dos alunos em avaliações na disciplina de ICF1 do CEDERJ. **Revista Educação a Distância**. v. 10. n. 1, 2020.
- SILVA, E. S.; PEREZ, G. A. C.; OLIVEIRA, A. L.; DE JESUS, V. L. B. Fermat's principle in high school classes: an experimental approach using video analysis. **Physics Education**. v. 59. n.3, 2024.