

A utilização de uma estratégia embasada em trocas representacionais pautadas na enunciação e resolução de problemas de óptica geométrica por estudantes do Ensino Médio

The use of a strategy based on exchanges representational actions based on the enunciation and resolution of geometric optics problems by high school students

Wesley Renzi

Instituto Federal do Paraná – campus Pitanga
wesley.renzi@ifpr.edu.br

Maysa de Fátima Moraes Frauzino

Universidade Estadual de Londrina
ma.mfrauzino@gmail.com

Carlos Eduardo Laburú

Universidade Estadual de Londrina
laburu@uel.br

Resumo

As múltiplas representações despertam o interesse dos estudantes e permitem que cada indivíduo explore os conteúdos de formas e modos diversos, de acordo com suas peculiaridades e motivações, o que enaltece e favorece o processo de ensino e aprendizagem. Além disso, as trocas representacionais funcionam como uma ferramenta para que o professor possa observar se o estudante está de fato aprendendo um determinado conteúdo. Neste trabalho analisamos as dificuldades e facilidades de alguns estudantes do Ensino Médio ao interpretar diferentes tipos de enunciados em problemas de espelhos esféricos, analisando também suas resoluções pautadas na troca representacional da forma matemática para a verbal escrita. Notamos que os estudantes, por conta da forma como sempre vivenciaram a apresentação dos problemas de física, externalizaram uma maior dificuldade para interpretar enunciados que não sejam pautados majoritariamente no verbal escrito.

Palavras chave: ensino de física, múltiplas representações, espelhos esféricos, resolução de problemas, troca representacional

Abstract

The multiple representations arouse the interest of students and allow each individual to explore the contents in different ways and ways, according to their peculiarities and

motivations, which enhances and favors the teaching and learning process. In addition, representational exchanges function as a tool for the teacher to observe whether the student is actually learning a certain content. In this work we analyze the difficulties and facilities of some high school students when interpreting different types of statements in spherical mirror problems, also analyzing their resolutions based on the representational exchange of the mathematical form for the written verbal one. We note that students, due to the way they have always experienced the presentation of physics problems, externalized a greater difficulty in interpreting statements that are not mainly based on written verbal.

Key words: physics teaching, multiple representations, spherical mirrors, problem solving, representational exchange

Introdução

A falta de motivação e de interesse por parte dos estudantes no Ensino Médio e nos anos finais do Ensino Fundamental tornou-se um problema recorrente com o qual muitos professores se deparam em suas aulas. Um dos fatores que contribuem para isso, é a falta de êxito dos estudantes nas atividades escolares propostas.

Dentre as inúmeras linhas de pesquisa existentes na educação científica, o referencial que abarca as Múltiplas Representações tem em seu âmago a compreensão e a elaboração dos significados dos conceitos científicos pelos estudantes. Destarte, as disciplinas científicas caminham rumo ao desenvolvimento e integração de variadas formas discursivas e de distintos modos de representação do pensamento e do desenvolvimento científico (LABURÚ; SILVA; ZÔMPERO, 2015).

A utilização de estratégias de ensino embasadas nas múltiplas representações, além de conferir benefícios motivacionais, norteiam os estudantes a um melhor entendimento do conteúdo científico a ser trabalhado. Com base nos dizeres de Laburú e Silva, 2016, o significado das palavras e conceitos científicos estão ancorados nos elementos representacionais geradores do discurso, sendo sua assimilação um ato composto pela totalidade do significado, evidenciado por um aglomerado de multiplicidades semióticas.

Segundo Ainsworth, 2008, as múltiplas representações apresentam três funções principais, sendo elas, motivar os estudantes a construir um entendimento mais aprofundado sobre um assunto, complementar ou subsidiar os processos cognitivos já existentes e delimitar a interpretação de determinados fatos e problemas. Vale ressaltar que os estudantes, dada as múltiplas identidades microculturais presentes no cotidiano escolar, possuem histórias, gostos e motivações distintas. Assim sendo, a utilização de múltiplas representações irá permitir com que os estudantes possam escolher a melhor forma de estudar determinado conteúdo, tornando este processo mais prazeroso e eficiente na aprendizagem de novos conceitos e na resolução de problemas (VAN HEUVELEN; ZOU, 2001).

Esta pesquisa possui caráter qualitativo, descritivo e interpretativo. Desta forma, não buscamos realizar um levantamento quantitativo do que foi apresentado, tanto porque, não temos uma amostra tão ampla que possa nos garantir um tratamento estatístico dos resultados. Os principais objetivos deste trabalho foram investigar as possíveis facilidades e dificuldades dos estudantes de ensino médio em interpretar problemas de física apresentados a partir de diferentes representações de enunciados e analisar a capacidade destes estudantes em explicar sua resolução, ou seja, transitar corretamente da representação matemática para a verbal escrita, evidenciando o que foi aprendido e quais as dificuldades que levaram os estudantes ao

erro.

Materiais e Métodos

Para a realização desta investigação, propusemos a resolução de uma atividade envolvendo o conteúdo de óptica geométrica para três estudantes previamente selecionados do último ano de um curso técnico integrado ao Ensino Médio de um campus do Instituto Federal do Paraná (IFPR). O critério de escolha dos estudantes pautou-se no bom rendimento e na participação dos mesmos durante as aulas e atividades propostas ao longo do ano de 2020, realizadas de maneira remota. Todos os três estudantes selecionados, maiores de 18 anos, assinaram um termo de participação autorizando a utilização dos dados coletados de forma a manter o seu anonimato. A pesquisa foi proposta e realizada integralmente por meio da plataforma digital Google Sala de Aula. Para explicar o que desejávamos que fosse feito e para esclarecer as dúvidas dos estudantes quanto à maneira como estes deveriam proceder na resolução e entrega das atividades, foi realizada uma conversa prévia com cada qual, individualmente, por meio de mensagens. A atividade foi proposta, realizada e devolvida em um único dia, não sendo monitorada sua realização.

No que se refere à atividade proposta, utilizamos quatro problemas de Física relacionados ao conteúdo de óptica geométrica. Foram elaborados dois problemas com enfoque em espelhos esféricos e dois problemas sobre refração da luz. Os dois problemas que versam sobre o mesmo tema (espelhos ou refração) foram elaborados e apresentados mediante distintos panoramas representacionais. Em um dos problemas demos ênfase à representação imagética, com todos os dados presentes em um esboço sobre o problema, e em outro, apresentamos todas as informações por meio de um texto verbal-escrito. Não obstante da forma como os problemas foram apresentados, em ambos os casos foi solicitado ao estudante realizar uma resolução detalhada, comentando os resultados obtidos, como a citar, por exemplo, o significado do sinal positivo ou negativo na ampliação de uma imagem. Por fim, foi requestado aos estudantes que cada um dos problemas propostos fosse resolvido em um tempo limite de 15 minutos.

Complementar às quatro atividades, propusemos ainda que os estudantes discorressem sobre as facilidades e/ ou dificuldades encontradas por eles na resolução e compreensão de cada conjunto de problemas proposto, descrevendo também as estratégias utilizadas para a resolução de cada uma das atividades. Por conta da extensão das análises, neste trabalho trouxemos um recorte das atividades, apresentando somente os problemas referentes às lentes esféricas e os comentários dos estudantes acerca dos mesmos.

Para referirmo-nos aos resultados obtidos, utilizamos a nomenclatura Estudante 1 (E_1), Estudante 2 (E_2) e Estudante 3 (E_3), de forma a facilitar seu chamamento nas análises e discussões, e garantir assim, o anonimato dos participantes.

Resultados e Discussões

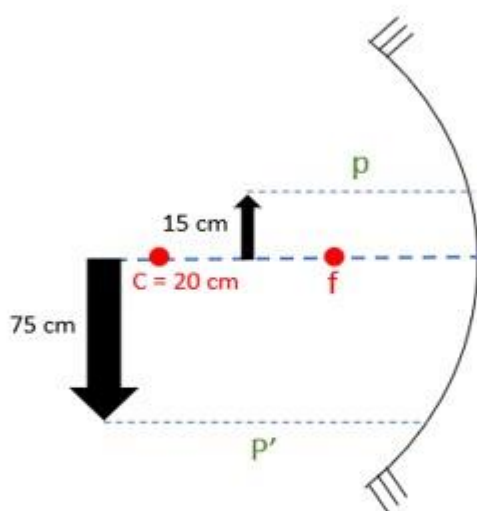
É importante sobrepular novamente que o objetivo desta atividade não é corrigir os problemas entregues, avaliando-os como certo ou errado, mas sim analisar o caminho cognitivo utilizado pelos estudantes no decurso da resolução dos problemas, bem como identificar suas facilidades e dificuldades tanto na interpretação dos dados fornecidos, quanto na apresentação e interpretação de suas resoluções. Consequentemente, a nossa investigação está atrelada em como os estudantes conseguem interpretar e resolver os dois problemas de física propostos

quando estes estão inseridos em uma estratégia multirrepresentacional, de acordo com dois cenários distintos. No primeiro, partimos de um enunciado cuja representação é imagética, ao passo que no segundo, partimos de um enunciado cuja representação é verbal-escrita. O intuito da nossa investigação em ambos os casos é que os estudantes consigam desenvolver o raciocínio matemático dos problemas, para que assim possam realizar de forma correta a troca representacional matemática para a verbal-textual.

Para facilitar a discussão dos problemas e para que o leitor possa interpretar sobre o nível de dificuldade dos problemas propostos, seus enunciados são apresentados a seguir na Figura 1.

Figura 1: Problemas envolvendo o conteúdo de espelhos esféricos propostos aos estudantes.

- 1) Com base no esquema apresentado para um objeto posicionado em frente a um espelho côncavo, determine as distâncias do objeto e da imagem até o espelho. Comente detalhadamente os resultados obtidos e o caminho (o seu raciocínio) utilizado para chegar ao mesmo, por exemplo: o que significa o sinal positivo ou negativo de cada um dos elementos com o qual você tratou.



- 2) Utilizando um espelho côncavo nós conseguimos formar a imagem de um objeto de 9 cm que está a 20 cm deste espelho. Considerando que o espelho apresenta valor absoluto de foco de 15 cm , determine a distância do objeto ao espelho e o tamanho da imagem observada. Comente detalhadamente os resultados obtidos e o caminho (o seu raciocínio) utilizado para chegar ao mesmo, por exemplo: o que significa o sinal positivo ou negativo de cada um dos elementos com o qual você tratou.

Fonte: Os próprios autores.

O problema 1 exige a leitura e interpretação dos dados, pautado não só no que é apresentado, mas também no conceito físico envolvido. Quando apresentamos a altura do objeto ($o = 15\text{ cm}$) e da imagem ($i = 75\text{ cm}$), estamos tratando na realidade dos valores absolutos, os quais demandam a interpretação quanto ao seu sinal (+ ou -) pautados na análise de sua posição em relação ao eixo y . O próprio problema já nos representa a imagem invertida em relação ao objeto, sugerindo que o sinal da ampliação seja negativo, não obstante um aumento ou redução do objeto. Destarte, este era o aspecto mais importante na interpretação do problema, sendo crucial para solucioná-lo de maneira correta. Observe que neste caso, além da interpretação do que se via, fazia-se ainda necessária a imposição dos conceitos físicos para

dar sentido ao que ali se representava.

Neste primeiro problema todos os três estudantes se equivocaram em algum momento, resultando em um ou mais valores errados em relação ao esperado. O E₁ demonstrou duas tentativas de resolução para o problema, descartando a primeira resolução após tirar a prova real com os resultados obtidos. Contudo, mesmo em sua segunda tentativa de resolução, E₁ acaba por encontrar um resultado equivocado no final, tendo sua resposta contrastando com a figura apresentada, na qual ambos objeto e imagem são reais (p e $p' > 0$). Na realidade os erros cometidos por E₁ em sua primeira resolução ocorrem tanto pelo equívoco em considerar o sinal negativo da imagem ($i = -75$ cm), quanto por um equívoco matemático na hora de associar p' e p ao chegar na relação $p' = -5$, e não $p' = -5p$, como apresentado na Figura 2. O aspecto interessante na segunda resolução do E₁ é que o estudante corrige parcialmente seu primeiro equívoco, obtendo $p' = -5p$, contudo, ao realizar as contas utilizando a lei de Gauss, este acaba por esquecer do sinal negativo neste momento, chegando ao correto valor para a distância do objeto ao espelho ($p = 12$ cm). Neste ponto, acertadamente indica que o valor positivo representa um objeto real, e ao retornar à relação obtida previamente ($p' = -5p$), acaba encontrando que $p' = -60$ cm, como pode ser observado na Fig. 3. Vale destacar que E₁ ainda realiza a interpretação do sinal negativo obtido como referente a uma imagem virtual, mas acaba não percebendo a falha de sua interpretação em relação ao que está desenhado. Infortunadamente, ao realizar a prova real, por ter partido de um ponto falho, E₁ acaba chegando em uma falsa comprovação “positiva” do que fez. Finalmente, um destaque nos chama atenção ao analisar o cabeçalho de “coleta de dados” da folha de resposta do E₁, como apresentado na Figura 4. É notório o conflito das ideias do E₁ ao realizar o levantamento dos dados do problema. Em dado momento E₁ destaca que “Ampliação (-), pois $\uparrow \downarrow i$ ”, indicando com clareza o que estava ocorrendo. Contudo, em seguida acaba se deixando levar pelos dados obtidos retirados da imagem, apresentando i e o positivos e conseqüentemente, obtendo $A > 0$.

Figura 2: Resposta “incorreta” de E₁ para o problema 1 proposto.

Tentativa 1 - deu errado

$$\frac{1}{0} = \frac{-p'}{p} \rightarrow 75 \cdot p = 15 \cdot (-p')$$

$$-p' = \frac{75p}{15} \rightarrow -p' = 5 \cdot (-1)$$

$p' = -5$

$$\frac{1}{10} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \rightarrow \frac{1}{10} = \frac{1}{p} + \frac{1}{-5}$$

$$\frac{1}{10} - \frac{1}{5} = \frac{1}{p}$$

$$\frac{1-2}{10} = \frac{1}{p}$$

$$-\frac{1}{10} = \frac{1}{p} \rightarrow -p = 10 \cdot (-1)$$

$p = -10$

PROVA REAL
 $75 \cdot (-10) = 15 \cdot 5$
 $-750 = 75$
 ERRADO

Fonte: Os próprios autores.

Figura 3: Resposta “correta” de E₁ para o problema 1 proposto.

Fonte: Os próprios autores.

Figura 4: Cabeçalho do problema 1 apresentado por E₁.

Fonte: Os próprios autores.

Ainda em relação ao problema 1, temos as resoluções do E₂ e E₃, os quais demonstraram as mesmas falhas no que se concerne à ampliação da imagem em relação ao objeto. Assim como adotado por E₁, E₂ e E₃ também negligenciam o sinal negativo para o tamanho da imagem, resultando em uma ampliação positiva. Um aspecto curioso referente às resoluções apresentadas é que todos, não obstante do erro relacionado à ampliação, chegaram ao mesmo ponto para o foco (correto) e ampliação (errada), mas se enganaram em pontos diversos e de formas bem distintas. E₂ equivocou-se ao montar e resolver a relação matemática ($5 = 10/(10 - p)$), resultando em um valor totalmente incorreto para a distância entre o objeto e o espelho ($p = -40$ cm), e assim também chega a um valor incoerente para p' , mesmo se pautando em fórmulas e um raciocínio matemático correto, como podemos acompanhar na Figura 5. O que

chama atenção neste caso é que E_2 em momento algum tece comentários sobre os resultados obtidos, seguindo um raciocínio puramente matemático para toda a resolução do problema. Se E_2 usufruísse do que foi proposto, interpretando seus passos e os resultados obtidos, provavelmente entenderia que o valor negativo para p estava equivocado e totalmente incoerente com o que se apresenta na imagem. Por fim, E_3 também retratou um erro matemático, não só com o valor de ampliação positivo, mas também ao realizar a divisão $A = 75/15 = 4$. Ademais, E_3 acabou por interpretar erroneamente os valores apresentados na imagem, associando os 15 cm apresentados não só à altura do objeto, como também à sua distância em relação ao espelho (p), segundo a simetria da figura, como este mesmo estudante retrata em sua explicação (Figura 6). Estes equívocos sequenciais, no entanto, acabam conduzindo E_3 a um valor correto para p' , mesmo que para isso tenha desconsiderado o sinal negativo presente na fórmula. Ao negligenciar o valor negativo que surgiria para p' , E_3 expôs seu conhecimento sobre o conteúdo à frente da própria matemática utilizada, uma vez que sabe, segundo o que ele próprio escreve (Figura 6), e possivelmente por conta da imagem do enunciado, que a imagem é real.

Figura 5: Resposta “incorreta” de E_1 para o problema 1 proposto.

$F = 10$
 $A = 5$
 $p = -40$
 $p' = 50$
 $d = 90$

$F = \frac{C}{2} \Rightarrow F = 20 \Rightarrow F = 10$
 $A = \frac{1}{0} \Rightarrow A = \frac{75}{15} \Rightarrow A = 5$

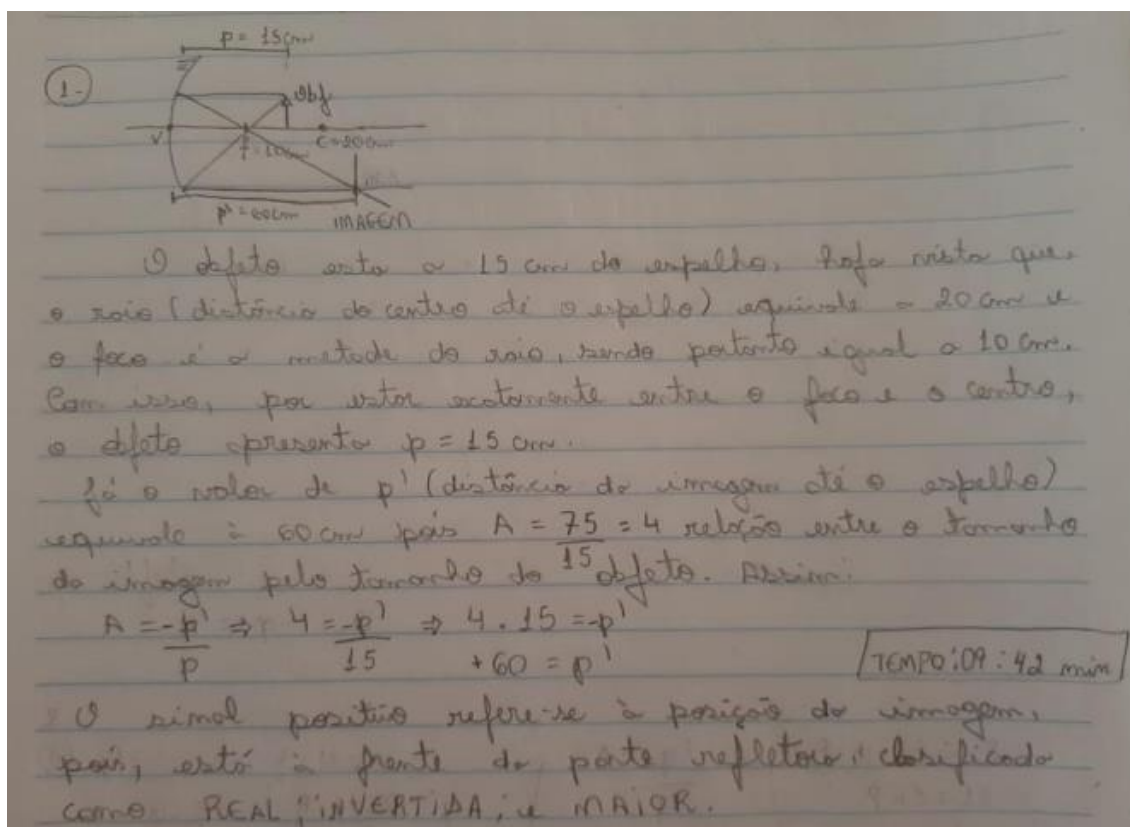
$A = F \Rightarrow 5 = 10 \Rightarrow 5 \times 10 = 10 \cdot p \Rightarrow 50 = 10 \cdot p \Rightarrow p = 10 - 50$
 $F \cdot p \quad 10 \cdot p \quad p = -40$

$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{10} = \frac{1}{-40} + \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{10} - \frac{1}{-40} = \frac{1}{p'} \Rightarrow \frac{1}{10} + \frac{1}{40} = \frac{1}{p'}$
 $\frac{1}{10} + \frac{1}{40} = \frac{4}{40} + \frac{1}{40} = \frac{5}{40} = \frac{1}{8} = \frac{1}{p'}$
 $p' = 8$

notações $p' = 50$
 $p' - p = d$
 $50 - (-40) = d$
 $d = 90$

Fonte: Os próprios autores.

Figura 6: Resposta de E₃ para o problema 1 proposto.



Fonte: Os próprios autores.

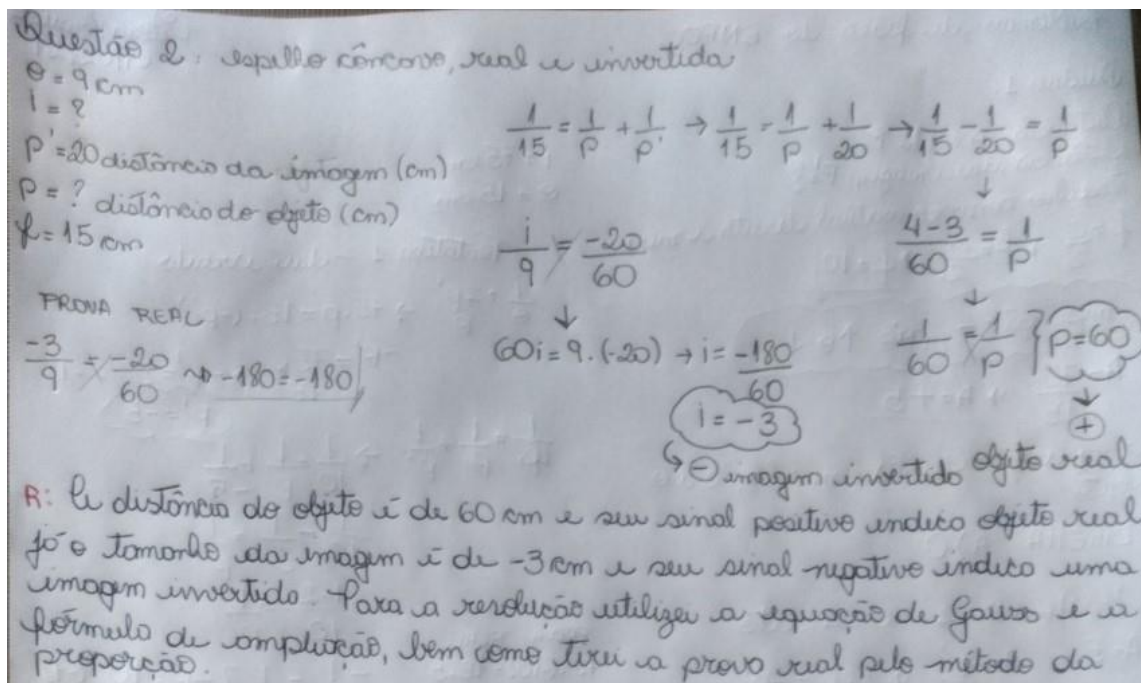
Em relação ao segundo problema proposto, temos um formato clássico, comumente utilizado nos livros didáticos e em provas de vestibular. Neste problema os dados são expressos de maneira explícita, no formato textual, oportunizando na maioria das vezes, uma interpretação ensejada por parte dos estudantes.

Para resolver este problema os estudantes precisavam, a partir dos dados corretos, utilizar a lei de Gauss para determinar a posição do objeto em relação ao espelho (p), e posteriormente, determinar, por meio da ampliação, o tamanho da imagem formada. Constatamos na Figura 7 que E₁ foi capaz de elencar todos os dados fornecidos e solicitados pelo problema de forma concisa e do mesmo modo, edificou seu raciocínio matemático para a resolução do mesmo. Em relação aos resultados obtidos, E₁ categoricamente explana sobre o significado dos sinais, relacionando-os com as propriedades da imagem obtida como real ($p = 60$ cm) e invertida ($i = -3$ cm).

Em relação ao E₂, novamente observamos um raciocínio errôneo no que se refere tanto à obtenção dos dados, quanto ao trabalho matemático realizado com estes, como é possível perscrutar na Figura 8. O E₂ acaba por trocar ambos os valores disponibilizados, contabilizando os valores de p (distância objeto-espelho) e i (altura da imagem) ao invés de p' (distância imagem-espelho) e o (altura do objeto). Além desta inversão, nota-se também uma incoerência na realização da abordagem matemática e a não obtenção de uma relação para ampliação, ou mesmo para a altura do objeto. Por fim, analisando a resolução do E₃ é possível perceber que o mesmo apresenta um bom domínio frente ao contexto matemático requerido, no entanto, acaba equivocando-se quando vai trabalhar com a parte de ampliação, como visto na Figura 9. Mesmo tratando $p' = 20$ cm em um primeiro momento, o estudante acabou adotando um valor negativo quando da ampliação $A = (-(-20)/60)$, obtendo uma relação

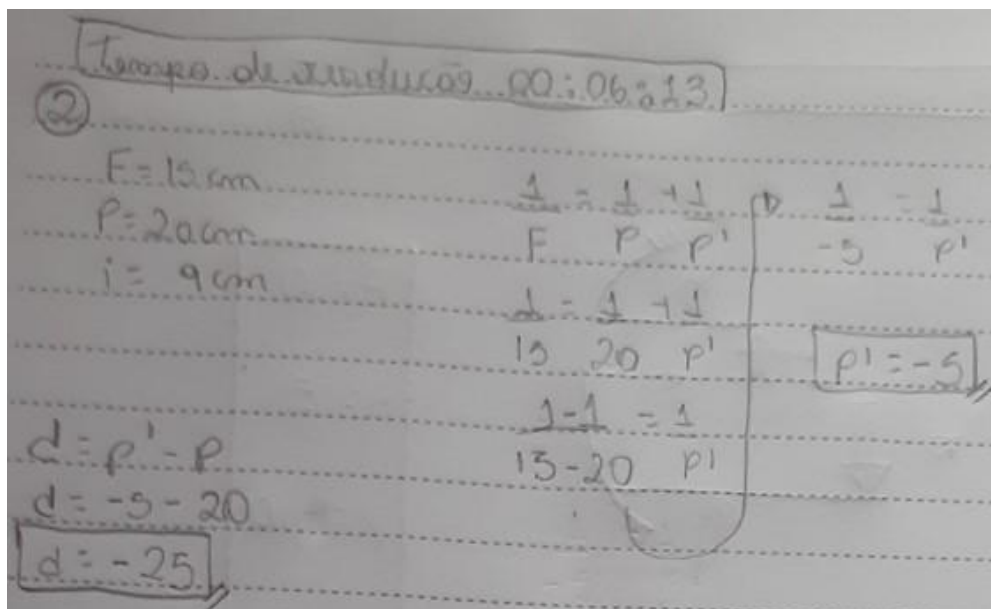
equivocada. Não obstante a isso, E₃ passa a se confundir também na utilização do resultado obtido para a ampliação na determinação do tamanho do objeto, criando uma linha de raciocínio distinta de todo o que temos como padrão para o assunto.

Figura 7: Resposta de E₁ para o problema 2 proposto.



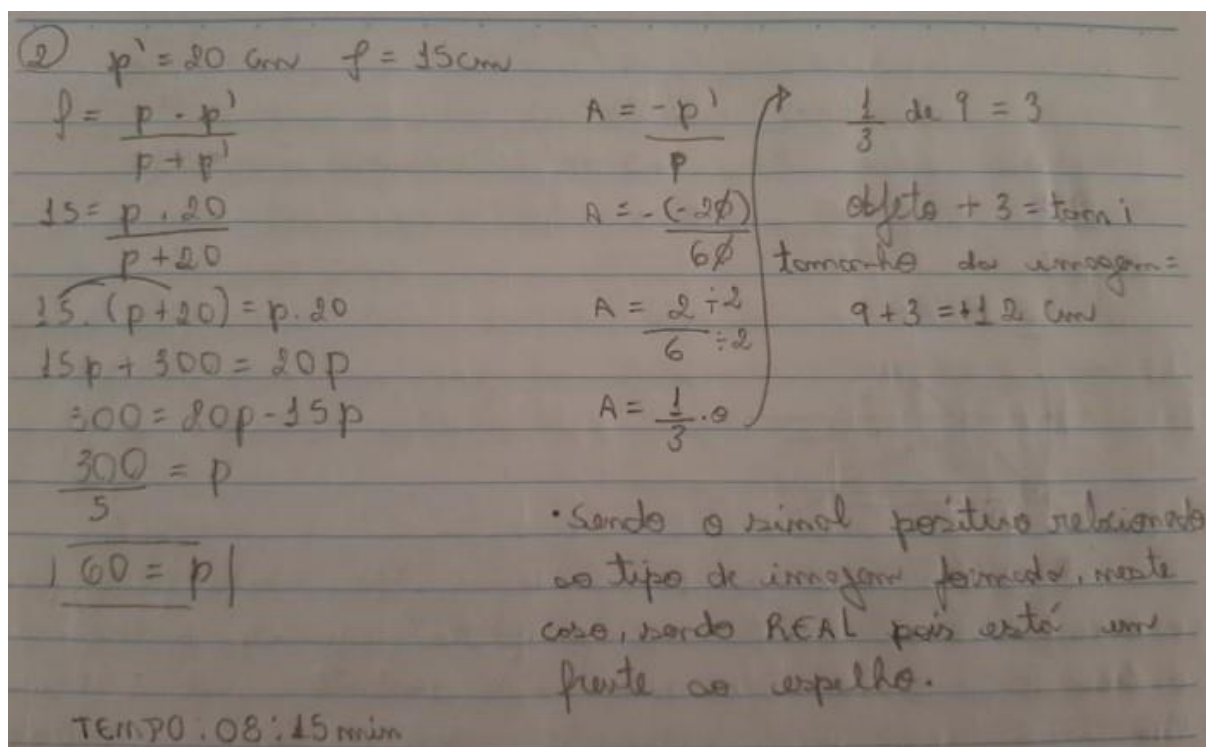
Fonte: Os próprios autores.

Figura 8: Resposta de E₂ para o problema 2 proposto.



Fonte: Os próprios autores.

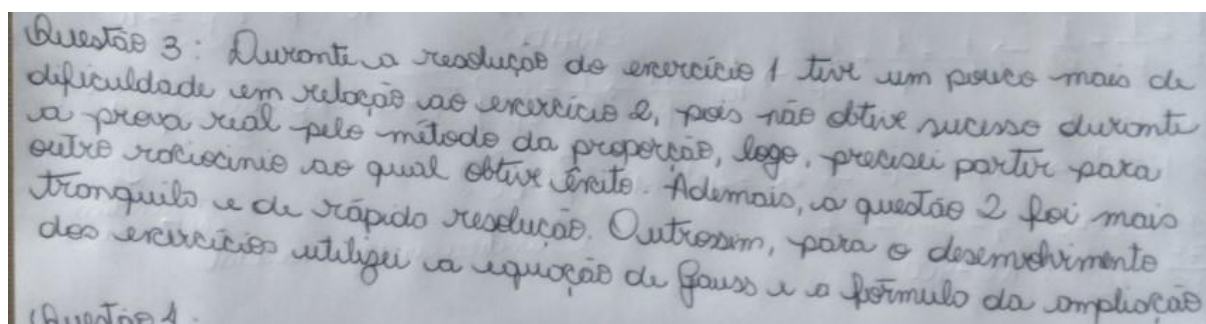
Figura 9: Resposta de E₃ para o problema 2 proposto.



Fonte: Os próprios autores.

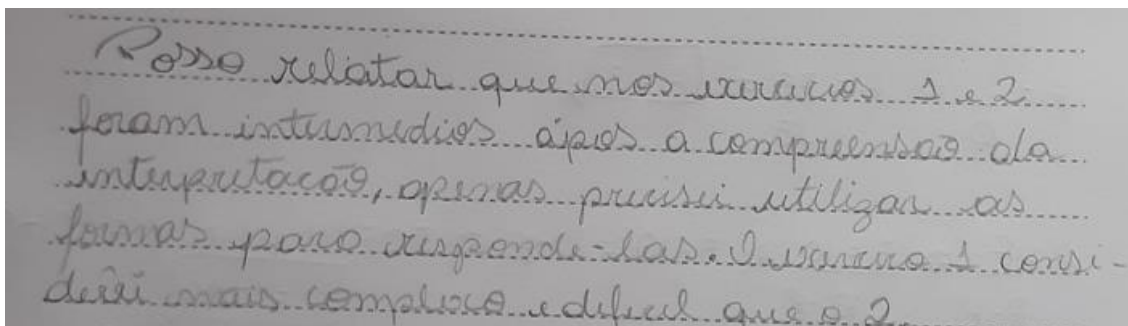
No que se refere as opiniões dos estudantes sobre os dois problemas que foram resolvidos, temos retratadas as respostas de E₁, E₂ e E₃ nas Figuras 10, 11 e 12, respectivamente. Era de se esperar que sob a ótica dos estudantes, o problema 1 fosse mais complicado do que o problema 2, tendo em vista a não familiarização dos mesmos em tratar de problemas com uma apresentação que foge do que é corriqueiro. Tal fato se consolida ao analisar as respostas fornecidas, onde todos relatam uma maior dificuldade frente ao problema 1. Outro ponto que nos chamou a atenção sobre as respostas fornecidas é que em momento algum foi retratado por esses estudantes alguma dificuldade em relação à parte matemática dos problemas, a qual foi responsável por grande parte das incoerências apresentadas no decorrer da resolução dos problemas propostos. Ademais, percebemos ainda que os estudantes pautaram suas considerações na utilização das fórmulas, e não na interpretação e representação do que foi obtido, perdendo parte do sentido esperado na resolução de um problema, que é trazer uma análise de tudo que se obteve.

Figura 10: Resposta de E₁ sobre as dificuldades e/ ou facilidades encontradas na resolução dos problemas 1 e 2.



Fonte: Os próprios autores.

Figura 11: Resposta de E₂ sobre as dificuldades e/ ou facilidades encontradas na resolução dos problemas 1 e 2.



Posso relatar que nos exercícios 1 e 2 foram intermediários após a compreensão da interpretação, apenas precisei utilizar as fórmulas para resolvê-los. O exercício 1 considerei mais complexo e difícil que o 2.

Fonte: Os próprios autores.

Figura 12: Resposta de E₃ sobre as dificuldades e/ ou facilidades encontradas na resolução dos problemas 1 e 2.

Resposta: O exercício 1 apresentou maior grau de dificuldade, pois, demandou maior tempo para relacionar os dados, após isso, os cálculos seguiram com êxito até os resultados finais. Já o exercício 2 apresentou-se mais tranquilo para a elaboração dos dados com clara relação para a resolução.

Fonte: Os próprios autores.

Considerações Finais

Podemos salientar que os resultados obtidos para as resoluções de ambos os problemas foram surpreendentes, não tanto pelo fato dos problemas de interpretação associados, mas sim pelos equívocos matemáticos ocorridos. Notamos também que os três estudantes em questão não fizeram uso das unidades de medida na apresentação dos resultados, ponto este que deve ser visto com grande cautela, principalmente ao propor atividades que possam trabalhar com unidades diferenciadas. No tocante ao nosso ponto de vista, antes de analisar as opiniões dos estudantes no que concerne ao tipo de problema que mais trouxe dificuldades, percebemos uma confusão e uma demanda de tempo maior para interpretar e resolver o problema 1, no qual é exigida a interpretação dos dados da imagem. Como era esperado, a falta de contato mais frequente dos estudantes para com tais tipos de representações distintas os torna mais propensos a cometer equívocos quando precisam realizar a leitura de problemas diferenciados, como a citar além das figuras, também os gráficos e tabelas.

Uma surpresa negativa obtida ao analisar as resoluções deve-se ao desempenho abaixo do normal obtido pelos estudantes na realização destas atividades. Como descrito anteriormente, todos os estudantes que participaram desta pesquisa, são estudantes que se destacaram e obtiveram desempenho acima da média no que tange aos estudos no ano de 2020. Com base em tudo que obtivemos e analisamos, podemos concluir que a busca por uma aprendizagem efetiva e com um maior significado transcendem a resolução do problema padrão, demandando aos professores o uso de diferentes tipologias de enunciados para apresentação e posterior apreensão dos problemas. Outrossim, mais do que exigir dos estudantes um maior domínio na leitura de dados e interpretação dos mesmos, precisamos estimular os estudantes a fazer uso das múltiplas representações para que ocorra uma melhor apresentação dos resultados, ou seja, fazer com que estes sejam capazes de concatenar e transitar corretamente

entre diversas e distintas formas de representação de um mesmo conceito, como a citar: a representação matemática; verbal escrita; verbal oral; tabular; imagética; gráfica, dentre outras.

Agradecimentos e apoios

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Agradecemos ainda ao Instituto Federal do Paraná, a Universidade Estadual de Londrina e a Comissão Organizadora do XIII ENPEC pela oportunidade de apresentar este trabalho.

Referências

AINSWORTH, Shaaron. **The educational value of multiple-representations when learning complex scientific concepts**. In: Visualization: Theory and practice in science education. Springer, Dordrecht, 2008. p. 191-208.

LABURÚ, C. E.; SILVA, O. H. M. Multimodos e múltiplas representações: fundamentos e perspectivas semióticas para a aprendizagem de conceitos científicos. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 7-33, 2016.

LABURÚ, C. E.; SILVA, O. H. M.; ZÔMPERO, A. F. Significados de eletrostática interpretados por meio da gesticulação de estudantes. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 21, n. 4, p. 851-867, 2015.

VAN HEUVELEN, Alan; ZOU, Xueli. Multiple representations of work–energy processes. **American Journal of Physics**, v. 69, n. 2, p. 184-194, 2001.