

O uso de experimentos e simulações computacionais para a construção de conhecimentos em Óptica Geométrica

Nayara França Alves¹, Italo Gabriel Neide²

Resumo

Este trabalho faz parte de uma pesquisa qualitativa desenvolvida no Mestrado Profissional em Ensino de Ciências Exatas da Univates, onde analisam-se indícios de aprendizagem significativa após a implementação de uma estratégia metodológica que integrou atividades experimentais e computacionais no ensino de Óptica Geométrica. O estudo foi realizado com uma turma do terceiro semestre de Licenciatura em Física de uma instituição federal de ensino da cidade de Macapá – AP. A pesquisa foi fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel (2003), utilizando-se também da abordagem defendida por Moreira (2002, 2011 e 2017). Os instrumentos de coleta de dados incluíram a resolução do Questionário Estruturado Inicial (QEI), o desenvolvimento de atividades experimentais integradas às computacionais embasadas no método Predizer, Observar e Explicar (P.O.E), questionário de satisfação e percepções, videogravações, audiogravações e diário de bordo. A análise desses dados foi feita de maneira descritiva e cronológica, visando interpretar detalhadamente as informações coletadas. Os resultados deste estudo evidenciaram as potencialidades do uso integrado das atividades experimentais reais com as simulações computacionais. A análise da resolução do QEI revelou uma escassez de conhecimentos prévios sobre o conteúdo em discussão. Essas atividades deram origem a um Produto Educacional com características de um material potencialmente significativo, vez que proporcionou momentos de engajamento, participação entre os pares e motivação para estudar o conteúdo de Óptica Geométrica, logo, os estudantes se mostraram predispostos para aprender, respeitando aos dois pressupostos da TAS, constatando a compreensão do conteúdo de maneira significativa, elencando atribuições da diferenciação progressiva e reconciliação integradora.

Palavras-chave: Atividades experimentais. Atividades computacionais. Ensino de Física. Aprendizagem Significativa.

<https://doi.org/10.5335/rbecm.v7i1.15378>
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>
ISSN: 2595-7376

¹ Doutora em Ensino de Ciências Exatas. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá (IFAP). E-mail: nayara.alves@universo.univates.br. orcid.org/0000-0002-1446-504X.

² Doutor em Física. Universidade do Vale do Taquari (Univates). E-mail: italo.neide@univates.br. orcid.org/0000-0003-0343-7294.

Introdução

O ensino convencional de Física, ainda culturalmente utilizado, é pautado no uso do quadro branco, pincéis e listas de exercícios de fixação, método que inviabiliza aos estudantes momentos de investigação e interação entre os pares, sendo visto como ineficaz, monótono e entediante pelos estudantes (BORGES, 2002; SOUZA; MARTINS, 2015). Professores e alunos localizam-se em extremos, de um lado, docentes que associam o aprendizado à resolução de listas de exercícios pautado em fórmulas matemáticas; do outro, os alunos que não conseguem relacionar os conteúdos vistos em sala de aula com a realidade, chegando a acreditar que a Física é uma continuidade da Matemática (RICARDO; FREIRE, 2007).

A implementação de recursos diferenciados nas aulas de Física pode ser uma alternativa que permita aproveitar as habilidades que os alunos já possuem, com a perspectiva de novas aprendizagens. Nessa toada, temos que a inserção da experimentação integrada às simulações computacionais surge como uma possibilidade diferenciada para o desenvolvimento de atividades de investigação acerca dos conteúdos de Óptica Geométrica, visando proporcionar momentos de interação, compartilhamento de ideias entre os alunos e o professor, manipulação de experimentos e a construção de conhecimentos (VALADARES, 2001).

Fruto da dissertação de mestrado da primeira autora, nesse estudo científico foram desenvolvidas seis atividades, sendo três de cunho experimental e três acerca do uso das simulações computacionais, fundamentadas no método investigativo P.O.E. (Predizer, Observar e Explicar) com alunos do terceiro semestre do curso superior de Licenciatura em Física, na disciplina de Prática do Ensino de Física II, em

uma instituição federal de ensino básico e superior na cidade de Macapá, que teve por objetivo analisar os indícios de aprendizagem com significados que emergiram após o uso dessas atividades investigativas por meio da integração entre a experimentação e as simulações computacionais voltadas para o ensino de Óptica Geométrica. O POE é tido como uma estratégia metodológica de cunho investigativo, que visa mudanças conceituais na estrutura cognitiva do estudante, fundamentadas na visão construtivista de aprendizagem (TAO; GUNSTONE, 1999).

A escolha deste público se deu pelos anseios já citados anteriormente, que enfatizam a desmotivação e as dificuldades de compreensão do conteúdo ensinado por ser apresentado de forma abstrata, características que dificultam a interpretação e o entendimento de maneira coesa do fenômeno físico em discussão. Frente a essas fragilidades, aponta-se que a inserção da experimentação integrada às simulações computacionais é analisada como uma opção viável para um processo de transição entre o modelo de ensino baseado na transmissividade do conhecimento para a construção de formas alternativas de se ensinar Física, possibilitando instigar o pensamento científico por meio da exploração e visualização dos fenômenos físicos em estudo (MORO; NEIDE; REHFELDT, 2016; DORNELES; ARAUJO; VEIT, 2012; ARAUJO; ABIB, 2008).

Este trabalho traz consigo a perspectiva de ser relevante para os professores que buscam incluir práticas diferenciadas em suas aulas, logo, por meio da integração entre as experimentações com as simulações computacionais, visando atividades de cunho investigativo.

Fundamentação teórica

Comumente, a metodologia proposta no ensino de Física se baseia na

memorização de conceitos e fórmulas matemáticas, o que impede o diálogo e a interação dos alunos. Essa abordagem limita as oportunidades de discutir e argumentar sobre os conceitos científicos estudados, que são essenciais para o desenvolvimento do pensamento crítico, da capacidade investigativa e do raciocínio científico (OSBORNE, 2010). O termo "experimental" é frequentemente mencionado nas narrativas sobre o estudo de fenômenos físicos. Os experimentos desempenham um papel fundamental no ensino de Física, sendo regularmente ressaltado em livros didáticos que a Física é uma "ciência experimental" e que o "conhecimento em Física é baseado em experimentos" (KOPONEN; MÄNTYLÄ, 2006).

O papel verificatório por meio da experimentação é a postura mais adotada entre os físicos, tendo este ato como recurso de juízo da verdade científica (KOPONEN; MÄNTYLÄ, 2006). Nesses aspectos, com a perspectiva de melhorar a aprendizagem dos alunos nos conteúdos de Óptica Geométrica, resolveu-se integrar as experimentações de manipulação reais com as virtuais. Os experimentos são tidos como reflexos do método científico, e a introdução desses recursos em sala de aula promovem a construção de conhecimentos de maneira significativa e consistente, permitindo ao aluno a manipulação dos materiais, e como se servir deles, podendo variar parâmetros, discutir, interagir com os colegas, com a expectativa de fomentar o desenvolvimento científico (ARAUJO; ABIB, 2003; SERÉ; COELHO; NUNES, 2003).

Gradativamente as simulações computacionais foram sendo inseridas nas salas de aula, e são "vistas como representações ou modelagens de objetos específicos reais ou imaginados, de sistemas ou fenômenos" (MEDEIROS; MEDEIROS, 2002, p. 3). Baseado em modelos, as simulações computacionais são "recortes" da realidade, ou seja, são implementações computacionais de modelos específicos, desconsiderando

diversos aspectos do sistema real, com foco em aspectos particulares da natureza, o que facilita a compreensão do fenômeno físico (HEIDEMANN; ARAUJO; VEIT, 2002).

A partir da dinamicidade das simulações computacionais e da importância do laboratório experimental didático por meio da manipulação palpável de experimentos, escolheu-se o método Predizer, Observar e Explicar (POE) para subsidiar o desenvolvimento das atividades a serem desenvolvidas de maneira integrada. O POE é um modelo de aprendizagem que explora os conhecimentos prévios dos alunos, tornando-os ativo nos processos de aprendizagem e de investigação, colaborando para a construção de conhecimentos (SUKMAWATI, 2020).

Proposto por Tao e Gunstone (1999), o método POE possui cunho investigativo e baseia-se no desenvolvimento de habilidades cognitivas dos alunos, onde o docente pode implementar situações-problema em sala de aula na intenção de que o aluno tente solucioná-las por meio das três etapas: predição, observação e explicação. Na primeira etapa o estudante deve elaborar hipóteses, coletar dados, desenvolver a capacidade de argumentação sobre o conteúdo com seus colegas; Na segunda etapa ocorre a observação experimental, seja ela real ou virtual, nesse momento os estudantes podem confrontar as ideias iniciais com a manipulação experimental; Na terceira etapa, os estudantes descrevem se as hipóteses apresentadas na primeira etapa estavam corretas ou não, apresentando respostas, na maioria dos casos, com embasamento científico (ZOMPERO; LABURU, 2011).

Para a discussão dos dados coletados escolheu-se a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) para tal abordagem. Ausubel (2003) explica que o fator isolado mais importante para a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe; portanto, se faz necessário descobrir quais são esses

fatores, para que desta forma o professor ou mediador ensine-o. Corroborando com esse posicionamento, Moreira (2017, p. 160) ressalta que “a aprendizagem significa a organização e integração do material na estrutura cognitiva”. Presume-se que o rol de conhecimentos idealizados no decorrer da vida acessa uma área particular do cérebro humano, denominada estrutura cognitiva. Nessa região, são armazenados todo um emaranhado de conhecimentos, e ali ficam guardados, contidos, até que seja necessário fazer uso dos mesmos. Estes conhecimentos já se apresentarão organizados e processados para agir de acordo com as mais diversas situações. Em outras palavras, esse “é o complexo resultante dos processos cognitivos, ou seja, dos processos por meio dos quais se adquire e se utiliza o conhecimento” (MOREIRA, 2017, p. 160).

Moreira (2011, p. 13) detalha a TAS como sendo “aquela em que ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe”. Logo, substantiva quer dizer que não ao pé da letra, e não arbitrária quer dizer que esta interação não é com qualquer conhecimento prévio, mas sim com um conhecimento especificamente relevante na estrutura cognitiva do aprendiz, denominado subsunçor ou ideia-âncora. Para que ocorra a aprendizagem significativa faz-se necessário conhecer as duas condições fundamentais para o desenvolvimento desta teoria: a primeira rege que o “material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo”; já a segunda aduz que “o aprendiz deve apresentar uma predisposição para aprender” (MOREIRA, 2011, p. 24).

Os materiais a serem utilizados em sala de aula podem ser, por exemplo, livros, aulas, vídeos, a introdução de softwares e simulações computacionais, entre outros, todavia, para que este material seja considerado potencialmente significativo, ele deve apresentar pontes que

facilite a construção de conhecimentos no decorrer do processo de aprendizagem, evidenciando que os significados estão nas pessoas, e não nos materiais (MOREIRA, 2011). Ausubel (2003) explica que utilizar-se dos conhecimentos prévios dos estudantes como forma de iniciar uma aula, um conteúdo, ou mesmo uma conversa, pode ser um ponto de partida para a utilização deste recurso cognitivo.

Todavia, este contexto se difere do local de trabalho da primeira autora, uma vez que as aulas são pautadas em ementários anuais, e que devem ser cumpridos de forma igualitária à ideia proposta nos planos pedagógicos dos cursos, sejam eles da educação básica ou superior. E, é justamente nessa conjuntura que adentramos na aprendizagem mecânica - “aquela praticamente sem significado, puramente memorística, que serve para as provas e é esquecida, apagada, logo após” (MOREIRA, 2011, p. 13). A Física como disciplina escolar pode ser exemplificada por meio dos fenômenos físicos vivenciados no cotidiano dos próprios alunos, como por exemplo, “observar situações e fenômenos a seu alcance, em casa, na rua ou na escola, desmontar objetos tecnológicos, tais como chuveiros, liquidificadores, construir aparelho” (BRASIL, 2002, p. 38).

A escolha da temática Óptica Geométrica se deu pelo fato desta parte da Física compreender os fenômenos relacionados ao comportamento da luz, a considerar “a hipótese de que a luz se propaga em linha reta, em que o estudo das propriedades das ondas luminosas com essas características é chamado de Ótica Geométrica” (HALLIDAY; RESNICK, 2010).

Procedimentos metodológicos

Esta pesquisa possui natureza qualitativa, com interesse central na interpretação dos significados atribuídos pelos sujeitos e as suas ações em uma dada realidade (MOREIRA, 2002). Aqui o sujeito pode realizar

análises, interpretações, que partem do subjetivo de cada um, sendo livres de regras e normas. A análise dos dados coletados foi realizada de maneira descritiva e cronológica, tendo como principal observador/descritor das situações vivenciadas o próprio pesquisador, estando imerso no fenômeno de interesse, tendo que as ações podem ser melhor compreendidas quando são observadas, assim, o pesquisador se faz presente no ambiente habitual de ocorrência, neste caso, a sala de aula (GIL, 2008; BOGDAN; BIKLEN, 1994).

Colaboram para o desenvolvimento desse estudo 20 alunos, sendo seis do sexo feminino e 14 do sexo masculino. A intervenção pedagógica foi realizada no horário das aulas da disciplina de Prática de Ensino de Física II da turma do III semestre de Licenciatura em Física, de uma instituição federal de ensino de Macapá -AP, resultando em 9 horas/aula com o intervalo de 3h:10min por encontro.

A turma foi dividida em três grupos (denominados **G1**, **G2** e **G3**) com o intuito de promover a interação social entre os estudantes, bem como aprimorar as discussões e a tomada de decisões durante a montagem e o preenchimento das respostas nos guias Predizer, Observar, Explicar (POE). Os acadêmicos foram identificados como **A1**, **A2**, **A3**, e assim sucessivamente.

Antes da execução de cada atividade experimental integrada à computacional, houve o desenvolvimento da diferenciação progressiva por meio de discussões e exemplificações dos fenômenos de maneira geral e inclusiva para a turma. Esse processo tinha como objetivo apresentar o conteúdo de forma que os conhecimentos prévios dos alunos comesçassem a fazer sentido ao longo das atividades, vez que a diferenciação dos significados ocorria de maneira progressiva a partir da resolução das atividades propostas no método POE (MOREIRA, 2011).

A seguir, serão apresentados os dados coletados a partir da implementação das atividades experimentais (AE) integradas às atividades computacionais (AC). Essa abordagem promoveu uma prática de ensino diferenciada, afastando-se das características tradicionais. As AE foram realizadas com materiais de baixo custo, enquanto as simulações computacionais utilizadas nas AC foram retiradas da plataforma PhET, da Universidade do Colorado (E.U.A.), denominadas: Ótica geométrica 2.0³ e Desvio da luz⁴.

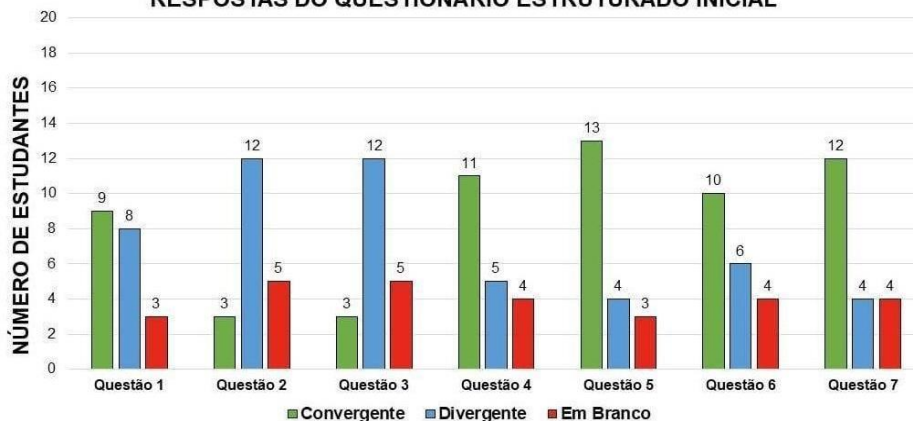
Análise dos dados coletados

Com o intuito de identificar os conhecimentos prévios dos alunos, eles responderam a sete questões do Questionário de Esclarecimento Inicial (QEI) sobre os princípios fundamentais de propagação da luz e os fenômenos de Reflexão e Refração da luz. A média aritmética das respostas, conforme mostrado na Figura 1, revelou que 43,57% foram resoluções convergentes, 36,43% divergentes, e aproximadamente 20% das questões foram deixadas em branco. Esses indicadores representam um nível insatisfatório de conhecimentos prévios sobre os conceitos de Óptica Geométrica, o que levou os autores a introduzirem organizadores prévios antes da realização das atividades experimentais (AE) e computacionais (AC).

³ Disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/geometric-optics/geometric-optics_pt_BR.html>. Acesso em 20 set. 2023.

⁴ Disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_pt_BR.html>. Acesso em 20 set. 2023.

Figura 1- Gráfico das respostas do questionário estruturado inicial
RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO ESTRUTURADO INICIAL



Fonte: Dos autores, 2023.

Como exemplo das resoluções dos participantes, temos a questão 3, que tratava do fenômeno do Equinócio. Esse evento é observado anualmente na cidade de Macapá, através do monumento Marco Zero, onde a projeção da imagem do Sol atravessa o orifício do obelisco do monumento e incide sobre a linha imaginária do Equador, considerando o paralelo que divide o planeta Terra em dois hemisférios: norte e sul. Essa questão apresentou o maior número de respostas divergentes, semelhante à segunda questão. Todavia, 15% das resoluções foram convergentes e incluíram contextualizações sobre o fenômeno da Refração da luz.

Conforme a contextualização sobre o fenômeno do Equinócio, indagou-se: "Você acredita que o Sol realmente está localizado na direção do orifício do monumento? Explique." Nesse cenário, temos as respostas de **A1**, **A6** e **A17**.

A1: "Não, a luz é curvada pelo meio em que ela percorre, formando uma imagem não real a qual não necessariamente a imagem real";

A6: "Não, pois a imagem do Sol (feixe de luz) acaba sofrendo a ação do princípio da refração".

A17: “Na verdade o sol está em uma posição que da nossa posição é possível ver o sol no obelisco, mas isso ocorre devido a um desvio da luz quando ela muda de meio”.

Nesta fase da pesquisa, percebe-se que os estudantes ainda não possuem o conhecimento científico necessário para detalhar e explicar claramente o fenômeno, como, por exemplo, as características da Refração da luz. Todavia, no decorrer das AE e AC, esses subsunçores foram enriquecidos com novas informações, tornando-se mais significativos. Moreira (2011, p. 14) explica que, nesse processo de interação entre os subsunçores e novos conhecimentos, "os novos conhecimentos adquirem significado para o sujeito e os conhecimentos prévios adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva."

O fenômeno da Refração da luz ocorre quando a luz muda de meio de propagação, resultando em uma variação simultânea de sua velocidade de propagação. No fenômeno do Equinócio, a luz viaja pelo vácuo com a velocidade de aproximadamente 300.000 km/s e, ao passar do vácuo para a atmosfera terrestre, atravessa meios não homogêneos. A densidade da atmosfera terrestre diminui com o aumento da altitude, e quanto maior for a densidade do meio de propagação, maior é o índice de refração. Portanto, o índice de refração do ar diminui com o aumento da altitude. Como resultado, "um raio de luz proveniente do vácuo e incidindo obliquamente na atmosfera segue em trajetória curvilínea", levando os espectadores, durante o fenômeno do Equinócio, a observar a projeção da imagem do Sol, conhecida como posição aparente do astro (TORRES; FERRARO, 2010, p. 214).

Contextualiza-se que as perguntas que incluíram ilustrações comumente encontradas em livros didáticos e na internet, como no caso da questão 4, que tratou da projeção aparente das estrelas, resultaram em

55% de respostas convergentes dos participantes. Esse comportamento pode ser explicado pela memorização de situações já vivenciadas, podendo ser considerado um ponto de partida para novas aprendizagens (MOREIRA, 2011).

Por fim, na análise das demais questões do QEI, alguns alunos correlacionaram o fenômeno da Reflexão da luz com as imagens refletidas em espelhos d'água ao viajarem de barco para os interiores da capital. No entanto, eles não conseguiram explicar se o tipo de reflexão seria regular ou difusa. Além disso, exemplificaram o fenômeno da Refração da luz ao descrever situações como tomar banho de piscina ou rio, ou observar o desvio de uma colher imersa em um copo com água.

Análise de um encontro envolvendo a integração da AE com a AC no entendimento dos fenômenos da Refração e Reflexão da luz

Neste encontro, a primeira questão abordou a variação da velocidade de propagação da luz ao passar por dois meios refringentes diferentes, no caso o ar e a água. Os alunos foram indagados sobre qual meio seria o mais refringente e sobre o tipo de reflexão presente no experimento que utilizou um espelho, um copo com água e um laser. Para o desenvolvimento da questão proposta, os grupos seguiram as etapas do método POE (Predizer, Observar, Explicar) e decidiram por qual guia POE iniciar, escolhendo entre a AE ou a AC.

Na resolução da etapa de predição, o grupo **G1** explica: "Ao passar por dois meios acontece a refração, e o meio mais refringente é a água. A reflexão é especular, já que o raio vai e volta na mesma direção."

Analisa-se que, ao mudar de meio de propagação, o feixe luminoso emitido pelo laser sofre refração, e que a água é de fato o meio mais refringente, pois a velocidade de propagação da luz é menor na água em

relação ao ar devido ao índice de refração da água ser maior do que o do ar. Além disso, observou-se que o grupo G1 elencou características do conceito da reflexão especular ao afirmar que "o raio vai e volta na mesma direção". Isso demonstra compreensão das características desse tipo de reflexão. Na reflexão especular, os raios paralelos que incidem em uma superfície lisa e polida são refletidos com o mesmo ângulo, continuando paralelos após a reflexão (TORRES; FERRARO, 2010).

Quanto aos demais grupos, suas respostas foram diversificadas, apresentando apontamentos sobre a conceituação do índice de refração. Eles descreveram que quanto maior for o índice de refração, maior será a refração da luz, o que são conceituações físicas aceitáveis. Isso evidencia indícios de reconciliação entre os conhecimentos existentes, com a diminuição das discrepâncias e conflitos conceituais ao longo das atividades realizadas (AUSUBEL, 2003).

Nas etapas de observação e explicação, os grupos puderam constatar seus erros e acertos, trazendo resoluções que estavam de acordo com as ideias iniciais e passando por aperfeiçoamentos, aspectos da diferenciação progressiva dos conhecimentos. Na Figura 2, é mostrado o progresso das atividades experimentais e computacionais realizadas pelos grupos durante a etapa de observação do método POE.

Figura 2- Gráfico das respostas do questionário estruturado inicial



Fonte: Dos autores, 2023.

No desenvolvimento da atividade computacional (AC) do guia POE I, a primeira questão indagava: "A luz está passando por dois meios refringentes, meio 1 (ar) e meio 2 (água), com velocidades de propagação diferentes. O que ocorre caso seja alterada a frequência da luz? Em qual meio a velocidade de propagação é maior? O que ocorre com a trajetória do raio de luz? Justifique."

O grupo **G1** explicou na etapa de predição: "A frequência da luz não irá interferir na sua trajetória e sim a velocidade do meio 1 será maior do que no meio 2, pois o meio 1 é mais refringente." Identifica-se que o grupo trouxe conceituações convergentes; no entanto, acredita-se que ocorreu um conflito na descrição ao afirmar que o ar é mais refringente que a água. Isso se deve ao fato de que a refração e a velocidade de propagação da luz são inversamente proporcionais. Ou seja, quanto maior a refração, menor será a velocidade de propagação da luz e vice-versa. Esses comportamentos puderam ser observados no uso da simulação computacional *Bending Light*, na etapa de observação.

Na etapa de explicação, o grupo **G1** finaliza afirmando: "A velocidade de propagação no meio 1 é maior do que no meio 2". Por outro lado, para a mesma questão, o grupo **G2** pontua: "A trajetória da luz não é alterada, mas o índice de refração muda". Esses aspectos não foram mencionados pelo grupo **G1**.

Nesse contexto, na análise das respostas, observou-se hierarquias conceituais com conceitos específicos, porém pouco inclusivos. No entanto, essas respostas demonstram características do processo de aquisição de informações que resultam de interações com novas informações adquiridas, relacionadas aos subsunçores dos conceitos de refração e reflexão da luz por meio dos processos dinâmicos da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora. Isso resulta em

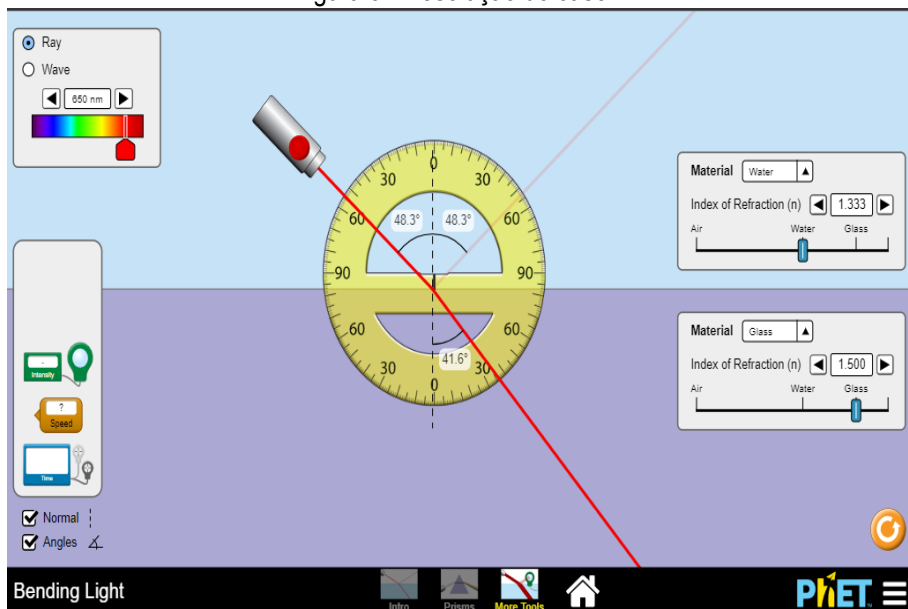
indícios de aprendizagem significativa (AUSUBEL, 2003).

A última questão contextualizada neste trabalho trouxe a indagação: O que acontece caso um raio incida com um ângulo de $48,3^\circ$ nos meios água e vidro, e posteriormente, ar e água? O que acontece com o raio refratado quando a luz passa por esses meios? Na etapa de predição, o grupo **G1** respondeu: “O raio refratado irá se aproximar da reta normal. Ao percorrer os meios, o raio refratado se aproxima da reta normal, devido aos índices de refração de cada meio serem diferentes”.

Aqui, identifica-se que os aprendizes já possuem subsunçores ricos em significados, que foram utilizados para responder de maneira cientificamente aceitável à questão em debate. É válido esclarecer que foram elencados dois casos diferentes: Caso 1, envolvendo água e vidro; Caso 2, envolvendo ar e água. Deste modo, existem três índices de refração diferentes.

No caso 1, o índice de refração no meio da água (meio 1) equivale a aproximadamente 1,33 e no meio do vidro (meio 2) aproximadamente 1,5. A luz sai de um meio menos refringente para um meio mais refringente, ou seja, do meio onde o índice de refração é menor para um meio onde o índice de refração é maior. Nesse caso, o ângulo formado entre a reta normal e o raio refratado mede aproximadamente $41,5^\circ$, sendo menor que o ângulo formado entre o raio incidente e a reta normal, cujo valor estipulado foi de $48,3^\circ$, conforme Figura 3.

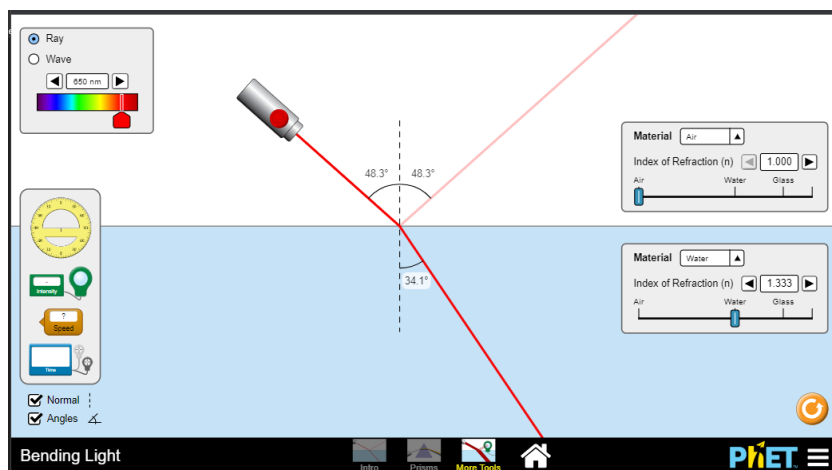
Figura 3 - Resolução do caso 1



Fonte: Dos autores, 2023 - Tela capturada do software *Bending light*.

De maneira análoga, na resolução do caso 2, a luz passa do meio ar (meio 1), com um índice de refração que equivale aproximadamente a 1,0, para o meio água (meio 2), com um índice de refração que equivale aproximadamente a 1,33. Nesse caso, quanto maior for a refringência do meio 2 em relação ao meio 1, menor será o ângulo formado entre a reta normal e o raio refratado. Para este caso, esse ângulo é de aproximadamente 34,1°. Portanto, conclui-se que quanto maior for a refringência do meio, maior será a refração, conforme mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Resolução do caso 1



Fonte: Dos autores, 2023 - Tela capturada do software *Bending light*.

Após a etapa de observação, o grupo G1 explica: "Após a realização do experimento, concluímos que o raio refratado ao passar pelos meios (água e vidro; ar e água) sofre desvio se aproximando da reta normal, como especulado anteriormente".

Percebe-se que eles aprenderam a diferenciar situações semelhantes e estabeleceram relações integrativas entre os novos conhecimentos e os conhecimentos já existentes na estrutura cognitiva. Eles elencaram características dos processos dinâmicos da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora por meio do desenvolvimento das diferentes atividades investigativas com diferentes recursos didáticos.

Para o melhor entendimento dos conceitos estudados, os aprendizes desenvolveram reconciliações integradoras também entre a realização da atividade experimental e da atividade computacional em momentos distintos, promovendo interações cognitivas entre a efetivação de ambas (AUSUBEL, 2003).

Deste modo, podemos concluir que o prosseguimento das atividades propostas promoveu aprendizagens com significado acerca do conteúdo

em discussão. Após a realização das AE e das AC, os aprendizes resolveram novamente o Questionário de Entrada e Identificação (QEI) como forma de analisar os erros, acertos e construções de conhecimento. Foi evidenciado que aqueles que não tinham conhecimento prévio sobre Óptica Geométrica e suas aplicações demonstraram conquistas conceituais.

Esses resultados destacam a importância do uso dessas ferramentas em conjunto, promovendo discussões sobre os mesmos fenômenos sob diferentes perspectivas, o que enriquece a compreensão dos alunos e facilita a internalização dos conceitos estudados.

Ao término desta intervenção, os alunos denominados **A8**, **A5** e **A16** expuseram suas opiniões acerca das atividades propostas:

A8: “O uso dessas estratégias promoveu a facilitação para entender o assunto por meio da teoria e da prática”.

A16: “Quando eu for professora, vou querer introduzir o uso dos mecanismos experimentais e computacionais no ensino de Física”.

A5: “O fato de desenvolvermos trabalhos em equipe foi recheado de momentos bons e ruins, em especial na fase de previsão dos guias POE, porque sempre havia inconsistências na resposta, e em alguns momentos virou até disputa entre os integrantes para ver quem acertava a resposta no final”.

De forma breve, pode-se observar a importância da inserção dessas atividades em sala de aula, relatando as potencialidades do método POE no desenvolvimento das atividades investigativas. As opiniões dos alunos destacam a valorização da abordagem teórico-prática, o interesse em utilizar métodos experimentais e computacionais no ensino futuro e os desafios e aprendizados proporcionados pelo trabalho em equipe durante as atividades.

Considerações finais

Muitas são as possibilidades de estratégias a serem implementadas no ensino de Física. O uso das AE integradas às AC é um exemplo de proposta que promoveu diferentes aspectos em sala de aula, como a motivação em participar das aulas com foco no entendimento e visualização dos fenômenos físicos de forma mais detalhada e atrativa.

Analisando o processo, observa-se que, embora inicialmente os participantes não possuíssem conhecimentos prévios sobre Óptica Geométrica, com o desenvolver das atividades experimentais integradas às atividades computacionais, os alunos passaram a apresentar conhecimentos significativos. Isso evidencia que o material proposto para o desenvolvimento da intervenção didática possui características de um material potencialmente significativo, capaz de promover aprendizagens profundas e duradouras.

Dessa forma, espera-se que o material desenvolvido na dissertação desta pesquisa possa auxiliar os docentes que buscam implementar recursos, atividades e meios didáticos que possibilitem a interação, motivação e construção de conhecimentos dos alunos nas aulas de Física, tanto no ensino médio quanto no superior. Além disso, espera-se que as AE integradas às AC sejam cada vez mais implementadas em sala de aula pelos professores de Física.

Esses mecanismos promovem um momento diferenciado em sala de aula, podendo proporcionar motivação aos alunos e despertar apreço pela disciplina. Ao permitir uma abordagem mais prática e visual dos conceitos físicos, as AE integradas às AC podem tornar o ensino mais envolvente e eficaz, contribuindo para uma aprendizagem mais significativa e duradoura.

The use of experiments and simulations for the construction of knowledge in Geometric Optics

Abstract

This work is part of a qualitative research developed in the Professional Master's Degree in Exact Sciences Teaching at Univates, where signs of significant learning are analyzed after the implementation of a methodological strategy that integrated experimental and computational activities in the teaching of Geometric Optics. The study was carried out with a class from the third semester of a Physics Degree at a federal educational institution in the city of Macapá – AP. The research was based on the Meaningful Learning Theory (TAS) of Ausubel (2003), also using the approach defended by Moreira (2002, 2011 and 2017). The data collection instruments included the resolution of the Initial Structured Questionnaire (QEI), the development of experimental activities integrated with computational ones based on the Predict, Observe and Explain (P.O.E) method, satisfaction and perceptions questionnaire, video recordings, audio recordings and logbook. The analysis of this data was carried out in a descriptive and chronological manner, aiming to interpret the information collected in detail. The results of this study highlighted the potential of the integrated use of real experimental activities with computer simulations. Analysis of the QEI resolution revealed a lack of prior knowledge about the content under discussion. These activities gave rise to an Educational Product with characteristics of a potentially significant material, as it provided moments of engagement, participation among peers and motivation to study Geometric Optics content, therefore, students were predisposed to learn, respecting both TAS assumptions, verifying the understanding of the content in a meaningful way, listing attributions of progressive differentiation and integrative reconciliation.

Keywords: Experimental activities. Computational activities. Physics teaching. Meaningful Learning.

Referências

ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Interatividade em recursos computacionais aplicados ao ensino-aprendizagem de física. **Em Anais da 14ª Jornada Nacional de Educação**. Santa Maria, 2008.

ARAUJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades. **Revista Brasileira em Ensino de Física**, v. 25, n. 2, p.176-194, 2003.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos**: uma perspectiva cognitiva. 1ª ed. São Paulo: Vetor, 2003.

BRASIL. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCN+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC, SEMTEC, 2002.

BORGES, T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro em Ensino de Física**. v. 19, n.3, p. 291-313, 2002.



BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. **Investigação qualitativa em Educação**: uma introdução à teoria e aos métodos. Porto, Portugal: Porto Editora, 1994.

DORNELES, P. F. T.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Integração entre atividades computacionais e experimentais como recurso instrucional no ensino de eletromagnetismo em física geral. **Ciênc. educ. (Bauru)**, Bauru, vol.18 nº.1, 2012.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **Fundamentos de Física 4**: Ótica e Física Moderna. V. 4. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

HEIDEMANN, L. A.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. **Ciclos de Modelagem: uma alternativa para integrar atividades baseadas em simulações computacionais e atividades experimentais no Ensino de Física**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 29, n. Especial 2, p. 965– 1007, 2012.

KOPONEN, I. T.; MÄNTYLÄ, T. **Generative Role of Experiments in Physics and in Teaching Physics**: A Suggestion for Epistemological Reconstruction. *Science & Education*, 15(1), 31–54, 2006.

MEDEIROS, A.; de MEDEIROS, C. M. Possibilidades e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino da Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n. 2, p. 87-90, 2002.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo, E.P.U, 2011.

_____. **Aprendizagem significativa**: a teoria e textos complementares. São Paulo, Livraria da Física, 2017.

_____. **Pesquisa em Educação em Ciências**: Métodos qualitativos. *Actas del PIDECE*, 4:25- 55, 2002.

MORO, F. T., NEIDE, I.; REHFELDT, M. J. H. Atividades experimentais e simulações computacionais: integração para a construção de conceitos de transferência de energia térmica no ensino médio. **Caderno Brasileiro em Ensino de Física**, v. 33, nº 3, p. 987-1008, 2016.

OSBORNE, J. (2010). Arguing to Learn in Science: The Role of Collaborative, Critical Discourse. **Science**, 328 (5977), 463–466. DOI: 10.1126 / science.1183944.

RICARDO, E. C.; FREIRE, J. A. A concepção dos alunos sobre a física do ensino médio: um estudo exploratório. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. 29 (2), 2007.

SERÉ, M. G.; COELHO, S. M.; NUNES, A.D.. O Papel da Experimentação no Ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. Florianópolis/BRA. v. 20, n.1, p.31-42, 2003.

SOUZA; F. A. M.; MARTINS, S. Uma proposta de ensino de Física utilizando a elaboração de vídeos experimentos. **X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – X ENPEC**, Águas de Lindóia, 2015. 1 CD-ROM.

SUKMAWATI; SABILLAH, B. M. (2020). The Implementation of POE (Predict, Observe, Explain) Learning Model to Improve Students' Achievement at Class XI Students of SMA Negeri 10 Makassar. **ELS Journal on Interdisciplinary Studies in Humanities**, 3(4), 552-559. DOI: <https://doi.org/10.34050/elsjish.v3i4.11891>.

TAO, P.K.; GUNSTONE, R.F. Conceptual Change in Science through Collaborative Learning at the computer. **International Journal of Science Education**, v. 21(1), p. 39-57, 1999.

TORRES, C. M. A.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T. **Física - Ciência e Tecnologia**: volume 2. 2 ed. São Paulo: Moderna, 2010.

VALADARES, E. C. Propostas de Experimentos de Baixo Custo Centradas no Aluno e na Comunidade. **Química Nova na Escola**. São Paulo, n. 13, p. 38-40, maio 2001.

VISSICARO, S. P.; NUNES, C., F.; MENDES, A. R. B. Atividades investigativas no ensino de ciências: propostas didáticas para os anos iniciais. **Anais do VIII Simpósio sobre formação de professores**. Tubarão, 2016.

ZOMPERO, A. F.; LABURU, C. E. Atividades investigativas no ensino de ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens. **Ensaio: pesquisa em educação em ciências**, Belo Horizonte, v. 13, n. 3, p. 67-80, 2011.