

A FÍSICA CONTEMPORÂNEA NO ENSINO MÉDIO: UMA PROPOSTA UTILIZANDO O CONCEITO DE REFRAÇÃO NEGATIVA

Contemporary physics in high school: a proposal using the concept of negative refraction

Fernando Grillo Araújo¹ [fernandogrillo.1979@gmail.com]

Gustavo Isaac Killner² [gustavoIK@terra.com.br]

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP)

R. Pedro Vicente, 625 - Canindé, São Paulo - SP, CEP: 01109-010

Recebido em: 06/09/2023

Aceito em: 09/12/2023

Resumo

A presença de diferentes tecnologias mostra-nos como vivemos em uma revolução tecnológica, que ocorreu em partes pelos avanços na área de Física Moderna e Contemporânea (FMC). Sob este contexto observa-se que apesar de a FMC já estar presente nos currículos escolares oficiais, existe ainda uma dificuldade grande em inseri-la na sala de aula. Nesta pesquisa, realizamos uma investigação quanto à influência da Física Contemporânea no aprendizado do aluno, trazendo conceitos dessa física como elemento inovador para o ensino de Física Clássica. O produto educacional desenvolvido é uma sequência didática referente ao conceito de refração, tratando da refração negativa, além da refração convencional. A pesquisa avalia, em duas turmas de ensino médio, o aprendizado quanto ao conceito de refração, sendo que em uma das turmas foi abordado tópicos de Física Contemporânea – no caso refração negativa – e na outra não. Os dados foram coletados a partir de atividades avaliativas dos alunos das duas turmas e um questionário, aplicado somente na turma em que o conceito de refração negativa foi abordado. De acordo com os resultados quantitativos, através do teste t-Student, a média da turma na qual discutiu-se o conceito de refração negativa foi significativamente melhor do que a outra turma, o que nos leva a concluir que trabalhar com este conceito contribui para o aprendizado do aluno. Já com os resultados qualitativos observou-se que as aulas de refração negativa despertaram interesse em boa parte dos alunos, tanto pela novidade do tema, como pela ciência de modo geral, e, para alguns alunos, o conceito de refração negativa ajudou a entender melhor o conceito de refração, como um todo. Os resultados mostraram que a Física Contemporânea pode influenciar significativamente no aprendizado do aluno, como também pode despertar o interesse pela ciência. Por fim, ressalta-se a importância de trazer para a sala de aula um ensino de física que acompanhe os avanços tecnológicos, permitindo ao aluno refletir sobre as tecnologias e os resultados da ciência e possa contribuir de maneira mais crítica e autônoma na sociedade em que está inserido.

Palavras-chave: Física contemporânea; refração negativa; sequência didática; ensino médio.

Abstract

The presence of various technologies shows us how we live in a technological revolution, which occurred in part due to advances in the area of Modern and Contemporary Physics (MCP). In this context, it is observed that although MCP is already present in official school curricula, there is still great difficulty in inserting it in the classroom. In this research, we carried out an investigation regarding the influence of Contemporary Physics on student learning, bringing concepts of this physics as an innovative element for the teaching of Classical Physics. The educational product developed is a didactic sequence referring to the concept of refraction, dealing with negative refraction, in addition to conventional refraction. The research evaluates, in two high school classes, learning about the concept of refraction, and in one of the classes topics of Contemporary Physics were addressed – in this case negative refraction – and in the other not. Data were collected from the

evaluation activities of students in both classes and a questionnaire, applied only in the class in which the concept of negative refraction was addressed. According to the quantitative results, through the t-Student test, the average of the class in which the concept of negative refraction was discussed was significantly better than the other class, which leads us to conclude that working with this concept contributes to student learning. With the qualitative results, it was observed that the negative refraction classes aroused interest in most of the students, both for the novelty of the subject and for science in general, and, for some students, the concept of negative refraction helped to understand better the concept of refraction as a whole. The results showed that Contemporary Physics can significantly influence student learning, but can also arouse interest in science. Finally, the importance of bringing physics teaching to the classroom that follows the technological advances is highlighted, allowing students to reflect on technologies and science results and to contribute in a more critical and autonomous way to society in which they are inserted.

Keywords: contemporary physics; negative refraction; didactic sequence; high school.

Introdução

A presença dos aparelhos celulares, sensores de presença e de calor, microprocessadores, cirurgias a laser, entre outras tecnologias, mostra-nos como vivemos em uma revolução tecnológica, que ocorreu em partes pelos avanços na área de Física Moderna e Contemporânea (FMC). Sob este contexto observa-se a importância de ensinar FMC na educação básica, pois apesar de já estar presente nos currículos escolares oficiais, existe ainda uma dificuldade grande em inseri-la na sala de aula. Diversas justificativas para que a FMC seja aplicada na escola, já foram apontadas por Ostermann e Moreira (2000), a partir da revisão da literatura:

- Despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer a Física como um empreendimento humano e, portanto, mais próxima a eles;
- Aproximar os estudantes da física atual;
- Aproveitar o entusiasmo de professores e alunos por temas atuais, que estão ligados as novas tecnologias;
- Possibilitar ao aluno localizar-se corretamente como ser humano na escala temporal e espacial da natureza;
- Atrair jovens para a carreira científica, pois serão eles os futuros pesquisadores e professores de física;
- A Física Moderna é considerada conceitualmente difícil e abstrata, mas, resultados de pesquisa em ensino de Física têm mostrado que, além da Física Clássica ser também abstrata, os estudantes apresentam sérias dificuldades conceituais para compreendê-la. (p. 24).

Embora a FMC já esteja presente nos currículos escolares oficiais do ensino médio há algum tempo, como nos PCN+ (Brasil, 2002), existe ainda uma dificuldade grande em inseri-la na sala de aula. Sales, G. et al. (2008) ressaltam a dificuldade de discussão sobre um projeto político-pedagógico para uma proposta de ensino de FMC, assim como o despreparo dos professores para abordarem tal conteúdo em sala de aula. Goulart, G. e Leonel, A. (2022), através de uma revisão bibliográfica sobre o ensino de Física Moderna e Contemporânea, identificam algumas das principais dificuldades dos professores em trabalhar com essa temática, tais como: dificuldades com operações matemáticas; falta de empenho e motivação; falta de estrutura adequada para o desenvolvimento de atividades experimentais; carga horária reduzida, da disciplina de física no Ensino Médio; deficiência na formação dos professores.

Paulo Neto, Oliveira e Siqueira (2019) ressaltam que apesar dos inúmeros avanços científicos da chamada física contemporânea desde o final do século XIX, a maioria das escolas ainda priorizam a física que foi desenvolvida anterior ao século XX, podendo – na visão dos autores – prejudicar os estudantes quanto a compreensão do mundo atual, que por sua vez é marcado pelos avanços e descobertas do século XX. Nessa perspectiva, os autores defendem uma física que contemplem o desenvolvimento da FM, porém não como uma mera curiosidade, mas que possa explicar os fenômenos que a FC não explica e como a sociedade evoluiu através dessa nova física.

Marques et al. (2019), analisando os principais periódicos, na área de ensino de Física/Ciências, constataram que são apresentados diversos trabalhos com sugestão de atividades didáticas para trabalhar conceitos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, porém menos da metade desses trabalhos trazem relatos sobre a aplicação da atividade sugerida em um ambiente real de ensino e aprendizagem.

Mediante as razões apresentadas, para inserção da FMC no ensino médio, a educação básica deve proporcionar conhecimentos para a formação de uma sociedade transformadora, e para isso é importante que essa sociedade tenha subsídio para compreender a sua realidade e poder tomar suas decisões, com base na compreensão dessa realidade em que está imerso, pois segundo Terrazzan (1992), a capacidade de intervenção na realidade em que um sujeito está imerso tem relação direta com a sua capacidade em compreender esta mesma realidade.

Na visão de Freire (2011), a educação deve sensibilizar o educando para que ele tenha criticidade e autonomia com relação aos problemas de sua realidade, buscando averiguar e investigar todas as informações possíveis, permitindo-lhe fazer seu julgamento e atuando de maneira coerente na sociedade. Logo, na FMC encontramos um amplo leque de temas e conteúdo que satisfazem os critérios mencionados acima e podem ser discutidos, tanto com alunos do ensino médio, como também os do ensino fundamental.

É nessa perspectiva que o professor, na qualidade de educador e divulgador da ciência, poderia trabalhar tanto com a Física Moderna e Contemporânea, quanto com a Física Clássica, pois, embora a Física Clássica tenha a sua importância na educação científica, ela não dá conta de explicar a evolução do universo contemporâneo, e as novas tecnologias, que marcam a grande revolução tecnológica presente na sociedade atual. Essa visão mais complexa do mundo é de extrema importância para a formação dos alunos e, nesse sentido, trazer para sala de aula discussões sobre o impacto da tecnologia na sociedade, bem como o princípio de funcionamento dos diversos aparelhos tecnológicos, além das novas e futuras tecnologias, é muito importante para possibilitar essa compreensão mais atualizada.

Entre os diversos assuntos relacionados à Física Moderna e Contemporânea, o conceito de luz é um dos mais presentes no mundo moderno – basta pensar na comunicação por fibras óticas, televisores, telas, sensores de presença, cirurgias a laser, entre outros – o que evidencia a importância de aprimorar este conceito, tanto na perspectiva da Física Clássica, como também na perspectiva da FMC. No entanto, quando se trata do conceito de luz, como grande parte dos conceitos de física, é tratado de forma abstrata – cuja abordagem didática envolve a medida de ângulos, memorização de conceitos e fórmulas e princípios de trigonometria, voltado totalmente para física clássica (Gircoreano & Pacca, 2001).

Pensando na importância da tecnologia na sociedade e na necessidade de discuti-la no ensino, através da FMC, bem como nas condições de ensino das escolas públicas nos dias de hoje, o presente artigo apresenta uma pesquisa referente a inserção de elementos da Física Contemporânea como elemento inovador para o ensino de Física Clássica, no Ensino Médio, de forma acessível ao professor e de fácil compreensão para os alunos.

Entre os diversos assuntos possíveis, escolhemos o conceito de Refração Negativa, onde buscamos, através deste conceito, inovar o ensino da Óptica Geométrica na Física Clássica. Este artigo busca responder a seguinte pergunta: trazer elementos da Física Contemporânea para o Ensino Médio, pode influenciar no aprendizado do aluno, sobre o conceito de refração?

Apoiando-se ainda no trabalho de Paulo Neto, Oliveira e Siqueira (2019), a Física Contemporânea (FCO) não teve um marco como a Física Moderna (FM), considerando que o seu início se deu por volta da década de 40 do século passado, sendo marcada pelo tempo atual da sociedade, de maneira contínua. Considerando que os primeiros estudos, sobre o fenômeno da refração negativa, foram em 1967, por Victor Veselago (1929 – 2018), com ascensão nos anos 90, pode ser considerado como um fenômeno da Física Contemporânea.

A refração negativa

Refração é um fenômeno ligado ao comportamento da luz, quando ela passa de um meio para outro e, por isso, sofre um desvio em sua trajetória. Esse desvio ocorre devido a variação de sua velocidade nos meios diferentes, já que cada um deles apresentam estruturas atômicas diferentes, que podem oferecer maior ou menor resistência a passagem da luz.

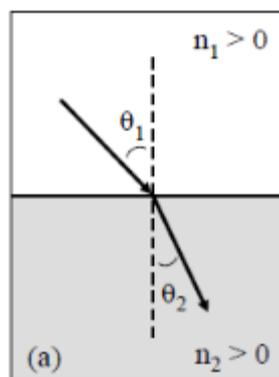


Figura 1 – Fenômeno de refração. Fonte: Santos (2011)

A refração negativa é um fenômeno que, ao contrário da refração convencional, não é observado na natureza; é criado em laboratório, e sua criação se dá através dos chamados metamateriais – materiais compostos por estruturas artificiais, formados pelo arranjo regular de minúsculos circuitos elétricos, que podem ser projetados para terem uma propriedade eletromagnética desejada, desempenhando, assim, o papel das “moléculas” do material.

Na refração convencional, a luz sofre um desvio em sua trajetória devido a mudança em sua velocidade, porém sua trajetória continua no mesmo sentido, do lado oposto da reta normal. Já na refração negativa, a luz sofre não apenas um desvio, mas também uma mudança no sentido sua trajetória, dessa forma, a luz é desviada para o mesmo lado do qual estava incidindo.

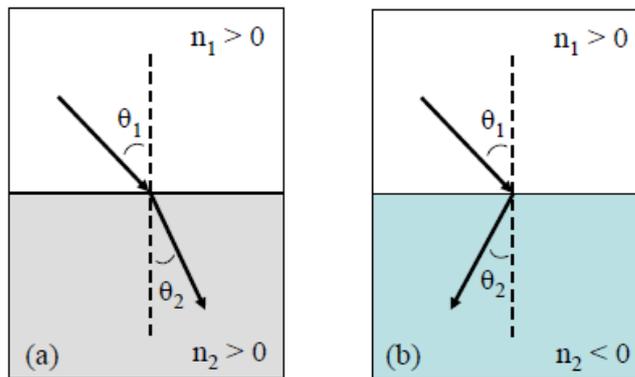


Figura 2 – (a) Refração convencional. (b) Refração negativa
Fonte: Santos (2011)

A figura 3 mostra uma imagem fictícia de uma caneta mergulhada em um copo, cujo líquido dentro do copo proporcionaria o fenômeno de refração negativa (à direita) frente ao fenômeno de refração convencional (à esquerda).



Figura 3 – Analogia do fenômeno de refração negativa.
Fonte: <http://noticias.uol.com.br/ciencia/album/2013/04/26/objetos-e-materiais-enganam-a-luz-e-ficam-invisiveis.htm#fotoNav=6>

No trabalho de Santos (2011), destaca-se o início desse grande avanço, em 1967, com o físico russo Victor Veselago, sugerindo um material com índice de refração negativa, que segundo as leis da física não era impossível de criar. Porém, o autor ressalta que somente três décadas depois, em meados da década de 1990, o físico britânico John B. Pendry, concluiu, com a colaboração de outros cientistas, que seria possível criar, a partir de uma estrutura metálica, um material com índice de refração negativa. A construção do material proposto por Pendry, segundo Santos (2011), se deu somente no ano 2000, com o físico estadunidense, nascido no Japão, David R. Smith, junto com colegas da Universidade da Califórnia.

Cícero e Albuquerque (2021) relatam a importância nos estudos de refração, onde a manipulação do índice de refração – observado na natureza – levou a descoberta de diversos tipos de materiais, como materiais fotônicos.

Por fim, Santos (2011) também destaca alguns avanços, como a criação da refração negativa através dos metamateriais, como a possibilidade já existente de manipular a refração negativa, de forma a controlar os desvios sofridos pela luz. Com uma combinação de metamateriais, com índices de refração positivos e negativos, pode-se criar um sistema de camuflagem, podendo fazer com que um determinado objeto fique invisível aos olhos de um observador, o que seria uma espécie de “manto

da invisibilidade”. Nesse sistema de camuflagem, a luz contornaria um determinado objeto ao invés de refletir, e com isso não seria refletida por esse objeto, ficando invisível ou transparente.

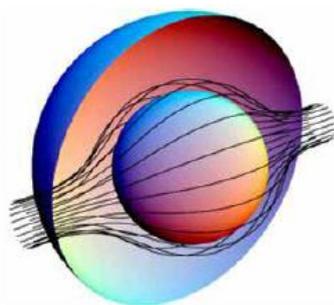


Figura 4 – Modelo do comportamento da luz no fenômeno de refração negativa
Fonte: Santos (2011)

Na figura acima, os metamateriais da esfera atuam fazendo com que as ondas eletromagnéticas contornem a esfera, ao invés de refletir ou refratar. Logo, para um observador a esfera se torna invisível, pois não há o fenômeno da reflexão da luz sobre a esfera, que chegaria em seus olhos. A imagem a seguir nos dá uma ideia da aplicabilidade desse fenômeno.



Figura 5 – Uma simulação do que seria o manto da invisibilidade – Uma das possíveis aplicações do fenômeno de refração negativa.

Fonte: <http://www2.joinville.udesc.br/~i9/2014/07/02/o-que-e-um-metamaterial/>

Metodologia

Mediante a carência em conteúdos de FMC, em especial da Física Contemporânea, foi proposto uma pesquisa a fim de observar se a inserção de elementos da Física Contemporânea contribui para o aprendizado dos alunos com relação ao conceito de refração. Nessa perspectiva, optou-se por uma fusão entre a Física Clássica e a Física Contemporânea, trazendo assim o conceito de refração negativa – da Física Contemporânea – dentro do ensino de óptica geométrica e refração convencional – da Física Clássica.

Através das aulas de física, ministradas com duas turmas do segundo ano do Ensino Médio, e apoiando-se nas ideias de Mayring (2002) sobre pesquisa-ação, foi possível realizar essa pesquisa, que se baseou na aplicação de uma sequência didática sobre refração, com o objetivo de inserir uma proposta que estivesse adequada as condições de ensino, considerando o contexto do Ensino Médio de uma escola pública da cidade de São Paulo – SP. No quadro a seguir apresentamos de forma sucinta o desenvolvimento da sequência didática:

Quadro 1 – Sequência didática desenvolvida em aula

Aulas	Tema	Aulas	Tema
1	Introdução ao conceito de refração	6	Exercícios de fixação
2 e 3	Aplicação de exercícios de fixação	7	Atividade em grupo: O que você faria se tivesse um manto da invisibilidade
4	Revisão sobre o conceito de refração	8	Atividade em grupo: De que forma o manto da invisibilidade poderia ser benéfico para a sociedade?
5	Introdução ao conceito de refração negativa	9	Atividade avaliativa

Para responder à questão da nossa pesquisa, realizou-se a coleta de dados por meio de dois instrumentos: lista de exercícios (Figura 6) e questionário (Figura 7). Consideramos duas turmas do segundo ano do Ensino Médio, onde em uma delas – turma A – desenvolvemos a sequência didática, discutindo o conceito de refração negativa. Nessa turma aplicamos os dois instrumentos de coleta. Com a segunda turma – turma B – aplicamos uma sequência semelhante, porém sem a inserção do conceito de refração negativa. Para essa turma, coletamos os dados somente através da lista de exercícios (Figura 6).

A análise dos dados foi feita de maneira quantitativa e qualitativa. Para a lista de exercícios a abordagem foi quantitativa – com a utilização do método de hipótese t-Student (Marconi & Lakatos, 2011) que permite fazer a comparação entre duas amostras independentes (no caso, comparamos o desempenho nas notas obtidas na lista de exercícios entre as duas turmas do segundo ano).

O método de hipóteses Teste t-Student é usado para averiguação de hipótese, ou seja, quando temos duas hipóteses e pretendemos averiguar qual das duas satisfazem a pergunta de nossa pesquisa. Neste caso, averiguaremos se a inserção do conceito sobre refração negativa influenciou os alunos quanto ao aprendizado sobre o conceito de refração. O método Teste t-Student pode ser aplicado nos seguintes casos:

- ✓ Comparar uma amostra (μ) com uma população.
- ✓ Comparar duas amostras pareadas – duas situações diferentes para um mesmo sujeito (μ_{antes} e μ_{depois}).
- ✓ Comparar duas amostras independentes (μ_x e μ_y).

Neste caso será apurado se uma variável difere entre dois grupos diferentes, ou seja, nesta pesquisa será verificado se trabalhar conceitos moderno de luz – refração negativa – pode contribuir para o aprendizado do aluno.

Inicialmente adotamos duas hipóteses:

- 1) Trabalhar conceitos modernos de luz – refração negativa – não influencia no aprendizado do aluno (H_0 : hipótese nula – $\mu_x = \mu_y$).
- 2) Trabalhar conceitos modernos de luz – refração negativa – influencia no aprendizado do aluno (H_0 : hipótese alternativa – $\mu_x \neq \mu_y$).

Estabelecendo assim a seguinte equação para as hipóteses:

Equação 1: Hipóteses nula e alternativa

$$H_0: \mu_x = \mu_y$$

(Eq. 1)

$$H_1: \mu_x \neq \mu_y$$

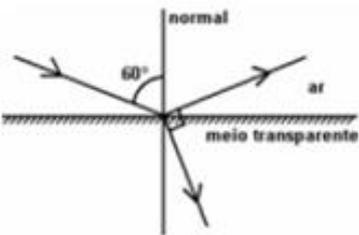
Para chegarmos a uma das duas hipóteses será calculado a distribuição t ($t_{\text{calculado}}$) e comparada com a distribuição conhecida crítica ($t_{\text{crítico}}$). O nível de significância será de 5%, ou seja, para a hipótese 1 ser descartada ($H_0: \mu_x = \mu_y$), deverá haver uma diferença entre as duas distribuições maior do que 5%.

Já para analisar os questionários, a abordagem foi qualitativa, onde utilizamos o método de análise textual discursiva de Moraes (2007). Com base nas respostas dos alunos, fizemos uma categorização agrupando-as em três dimensões: interesse – se foi despertado algum interesse e qual o tipo de interesse; aprendizagem – se houve algum aprendizado; pragmática/utilitária – se foi observado, pelos alunos, uma aplicabilidade no conhecimento aprendido.

Com isso, buscamos, por meio das diversas respostas obtidas às diferentes questões do questionário, entender o que foi promovido, na visão dos alunos, através da sequência didática. Para cada dimensão foram elaboradas algumas categorias e sobre cada categoria apresentamos exemplos de falas dos alunos, que salientam nossos resultados parciais em relação às dimensões de análise.

Atividade

1) Um raio luminoso que se propaga no ar " $n(\text{ar}) = 1$ " incide obliquamente sobre um meio transparente de índice de refração n , fazendo um ângulo de 60° com a normal. Nessa situação, verifica-se que o raio refletido é perpendicular ao raio refratado, como ilustra a figura a seguir. Identifique na figura o:



a) raio incidente d) ângulo de incidência g) qual o índice de refração no meio transparente?

b) raio refratado e) ângulo de refração

c) raio refletido f) ângulo de reflexão h) O que você entende por perpendicularidade.

2) Na figura adiante, um raio de luz monocromático se propaga pelo meio B, de índice de refração 2,0. Determine o índice de refração do meio A. Dados: $\sin 37^\circ = 0,60$; $\sin 53^\circ = 0,80$

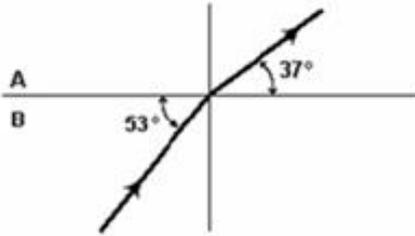


Figura 6 – Lista de exercícios aplicada nas turmas A e B. Fonte: os autores.

Questionário

1) A aula sobre refração negativa lhe proporcionou algum interesse pela ciência, ou em saber mais sobre este fenômeno? Por quê?

2) Ter estudado refração negativa lhe ajudou a entender melhor o conceito de refração de um modo geral? Justifique.

3) Após a aula sobre refração negativa, se você visse em uma revista, jornal, TV ou internet, uma matéria que falasse sobre refração negativa ou outro tema da física contemporânea, você se interessaria pela notícia? E antes dessa aula?

4) Sabendo que o conceito de refração negativa não é tão explorado nos vestibulares, você seria a favor de descartá-lo das aulas de física, para dar mais ênfase naqueles conceitos que são exigidos nos vestibulares? Por quê?

5) Sendo a refração negativa um conceito ligado às novas tecnologias (física contemporânea), você é a favor que as aulas de física tenham mais enfoque na física contemporânea? Justifique a sua resposta.

Figura 7 – Questionário aplicado na turma B. Fonte: os autores.

Resultados

A Tabela 1 apresenta o rendimento das duas turmas referente aos dois exercícios aplicados na lista de exercícios (Figura 6), sendo que os resultados são as notas, que poderiam variar de 0 a 10:

Tabela 1 – Rendimento das turmas

Turma A		Turma B	
Refração negativa		Refração convencional	
Grupo	Resultado	Grupo	Resultado
1	4,50	1	1,00
2	6,00	2	2,50
3	9,50	3	1,00
4	7,50	4	1,00
5	2,50	5	1,00
6	7,00	6	4,00
7	3,00	7	1,00
8	1,00	8	1,00
9	4,00	9	1,00
10	1,00	10	1,00
11	7,50	11	1,00
12	6,00	12	7,00
13	7,50	13	6,50
14	7,00	14	2,50

Através das notas dos alunos, apresentadas na tabela 1, faremos a análise quantitativa pelo método de

hipóteses Teste t-Student. Inicialmente calculamos a média \bar{X} nos dois grupos através da equação 2.

Equação 2: Cálculo da média para a turma A

$$\bar{X}_A = \frac{\sum_{i=1}^n X}{n} \rightarrow \bar{X}_A = \frac{74,0}{14} \rightarrow \bar{X}_A = 5,29 \quad (\text{Eq. 2})$$

Equação 3: Cálculo da média para a turma B

$$\bar{X}_B = \frac{\sum_{i=1}^n X}{n} \rightarrow \bar{X}_B = \frac{31,5}{14} \rightarrow \bar{X}_B = 2,25 \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde X corresponde aos resultados obtidos por cada grupo e n corresponde a número total de grupos avaliados.

Na sequência calculamos a variância $S_{\bar{A}-\bar{B}}$ pela equação 4:

Equação 4: Cálculo da variância

$$S_{\bar{A}-\bar{B}} = \sqrt{\frac{(\sum(X_A - \bar{X}_A)^2) + (\sum(X_B - \bar{X}_B)^2)}{n(n-1)}} \rightarrow S_{\bar{A}-\bar{B}} = \sqrt{\frac{(91,36+57,88)}{14(14-1)}} \rightarrow S_{\bar{A}-\bar{B}} = 0,91 \quad (\text{Eq.4})$$

A distribuição t_{calc} é obtida pela equação 5.

Equação 5: Cálculo do t_{calc}

$$t_{\text{calc}} = \frac{(\bar{X}_A - \bar{X}_B) - (\sum(X_A - \bar{X}_A)) - (\sum(X_B - \bar{X}_B))}{S_{\bar{A}-\bar{B}}} \rightarrow t_{\text{calc}} = \frac{5,29 - 2,25}{0,91} \rightarrow t_{\text{calc}} = 3,34 \quad (\text{Eq. 5})$$

Para determinar o $t_{\text{crítico}}$ calcula-se, inicialmente o grau de liberdade df através de equação 6.

Equação 6: Cálculo do df

$$df = (n_A - 1) + (n_B - 1) \rightarrow df = 13 + 13 \rightarrow df = 26 \quad (\text{Eq. 6})$$

Pela tabela de distribuição t-Student (Marconi & Lakatos, 2011), para um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$) e $df = 26$, é encontrado o $t_{\text{crítico}} = 2,056$. Sendo o $t_{\text{calc}} = 3,35$, temos a seguinte situação no gráfico.

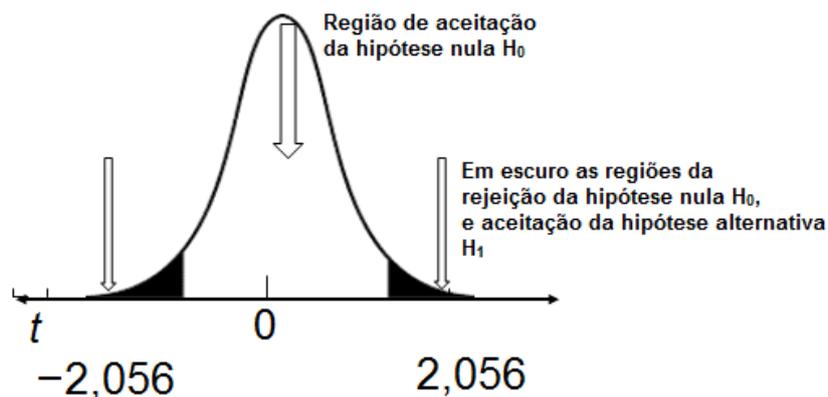


Gráfico 1: Região de aceitação das hipóteses do teste. Fonte: os autores.

Com base nos dados, obtidos através do método Student, conclui-se que $t_{\text{calc}} > t_{\text{crítico}}$, pois a média da turma A, para um nível de significância de 5% foi significativamente melhor que a média de turma B, ou seja, trabalhar o conceito de refração negativa contribuiu para o aprendizado do aluno.

Sobre a análise qualitativa, apresentamos o levantamento geral das três dimensões criadas a partir das respostas dos alunos, a fim de apurarmos o impacto da sequência aplicada – se positivo ou negativo na visão dos estudantes. No gráfico 2, apresentamos o número de respostas que se relacionavam às

três dimensões. Os valores ultrapassam o total de respostas, porque um mesmo estudante poderia mencionar uma ou mais dimensões.

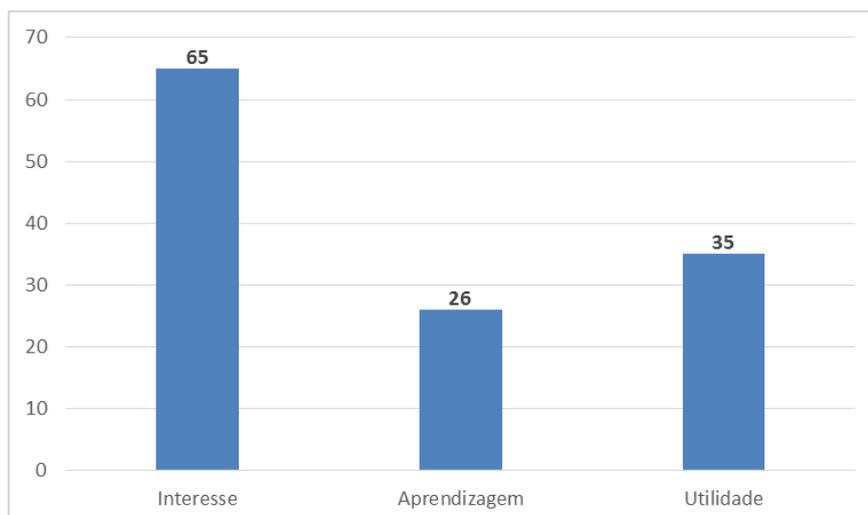


Gráfico 2: Número de respostas caracterizadas em cada dimensão. Fonte: os autores.

Observamos no gráfico 2 que a maioria das respostas dos alunos foi caracterizada dentro da dimensão interesse, seguida da dimensão utilidade/pragmática do assunto estudado, e o menor número de respostas foi caracterizado na dimensão aprendizagem, levando-nos a concluir que, na visão dos alunos, a sequência didática promoveu muito mais o interesse do que a aprendizagem, podendo ser esse uma evidência de um possível elemento motivador para a inserção da Física Contemporânea no Ensino Médio, conforme algumas das respostas dos alunos sobre o questionário aplicado:

“A aula de refração negativa me ajudou a gostar de ciência”

“(…) o assunto em si é curioso”

“(…) prestaria o máximo de atenção possível. Antes da aula também porque gosto desse tipo de coisa”

A partir daí, apresentaremos as categorias de cada dimensão de análise. Começaremos pela aprendizagem, que é a que mais nos interessa, em princípio. No gráfico 3, apresentamos as distribuições das respostas para as categorias geradas a partir da dimensão sobre aprendizagem.

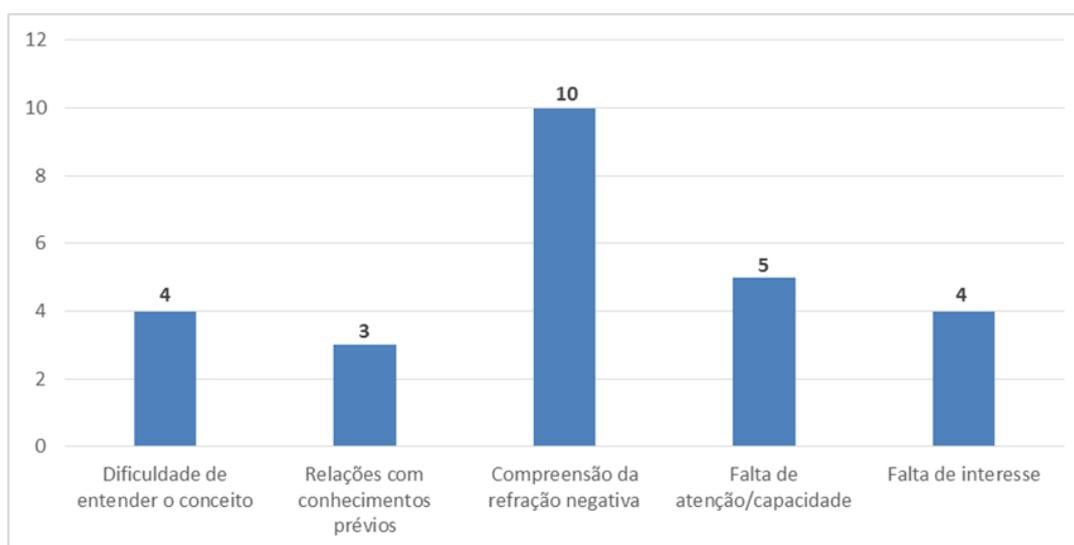


Gráfico 3: Número de respostas caracterizadas na dimensão aprendizagem. Fonte: os autores.

Através do gráfico 3 podemos observar que, dentre os alunos que destacam a aprendizagem do conceito como o aspecto mais relevante, o maior número de respostas se refere à compreensão do conceito de refração negativa:

“Ajudou, pois não sabia nada”

“(…) desvendou até dúvidas que eu tinha anteriores”

No entanto, em relação a aprendizagem, são apresentadas, também, respostas referentes à dificuldade de aprendizagem – falta de atenção, falta de interesse e dificuldade de entender o conceito – cujo número de respostas somadas superam o número de repostas voltadas para a compreensão da refração negativa.

“Refração é um assunto muito complexo e a partir do momento que eu comecei a não entender parei de prestar atenção, por isso não entendi refração negativa”

“(…) eu não entendi algumas coisas”

Sobre este cenário, entendemos que os desafios para a inserção da Física Contemporânea – assim como a FMC – vão além daqueles já mencionados no início desse artigo, pois o professor, em sala de aula, também pode ter como desafio questões relacionadas aos próprios alunos. Na dimensão aprendizagem, alguns aspectos merecem atenção, como por exemplo: a defasagem no conhecimento, a baixa na autoestima, entre outros que, possivelmente, podem contribuir para a não compreensão do conteúdo ensinado, consolidando-se assim como mais um obstáculo a ser superado pelo professor em sala de aula.

Sendo assim, entendemos que no processo de ensino e aprendizagem, é importante que seja levado em consideração não apenas a complexidade do conteúdo a ser discutido, mas também o perfil do aluno presente na sala de aula, com relação aos seus conhecimentos prévios e também suas crenças sobre a própria aprendizagem.

A seguir, no Gráfico 4, apresentamos os números de respostas categorizadas dentro da dimensão interesse, observando uma distribuição equilibrada para os diversos tipos de interesses mencionados pelos alunos, a partir dos assuntos trabalhados com a sequência didática.

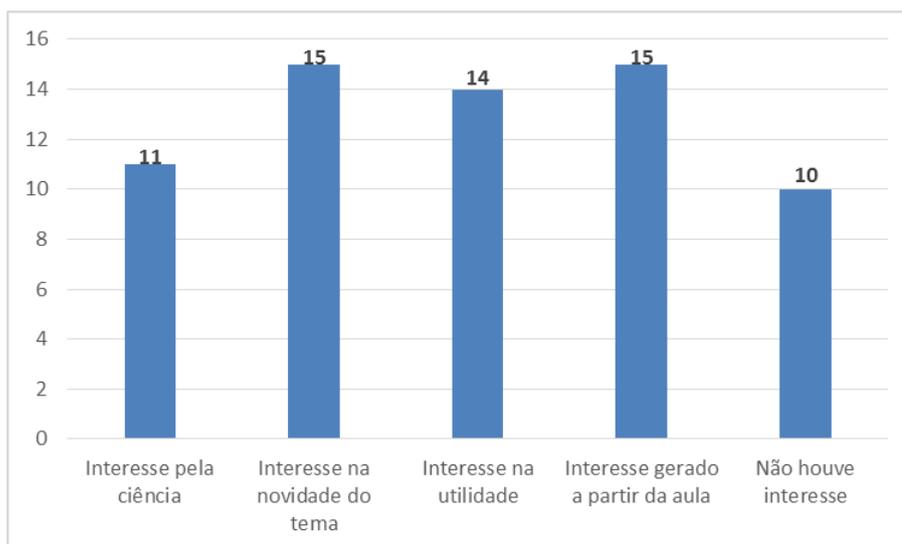


Gráfico 4: Número de respostas caracterizadas na dimensão interesse. Fonte: os autores.

Acreditamos, através dos resultados mostrados no gráfico 4, que com a inserção de conteúdos de Física Contemporânea seja possível quebrar alguns preconceitos à respeito da física em geral, uma vez que se observa uma quantidade significativa de respostas para os diversos interesses gerados a partir da sequência aplicada:

“(…). Isso me fez questionar sobre as lentes de óculos, por exemplo. Mas o mais interessante foi a possibilidade de deixar algo invisível”.

“(…) podemos usar esses ensinamentos para mudar/inventar novas utilidades para essas novas tecnologias”.

Boa parte dos interesses dos estudantes ficou na possibilidade de utilização do conceito de refração negativa para a utilização em tecnologias ou situações do cotidiano. No entanto, aparece um número significativo de estudantes que ficaram mais interessados pela ciência, ou ainda pela novidade do tema, colocando, então, mais um aspecto positivo para a inserção de elementos da Física Contemporânea no Ensino Médio.

Por fim, o gráfico 5 refere-se as respostas categorizadas na dimensão pragmática/utilitária, com destaque para a categoria sobre a importância do tema para a aprendizagem, seguida da categoria referente as tecnologias do dia a dia.

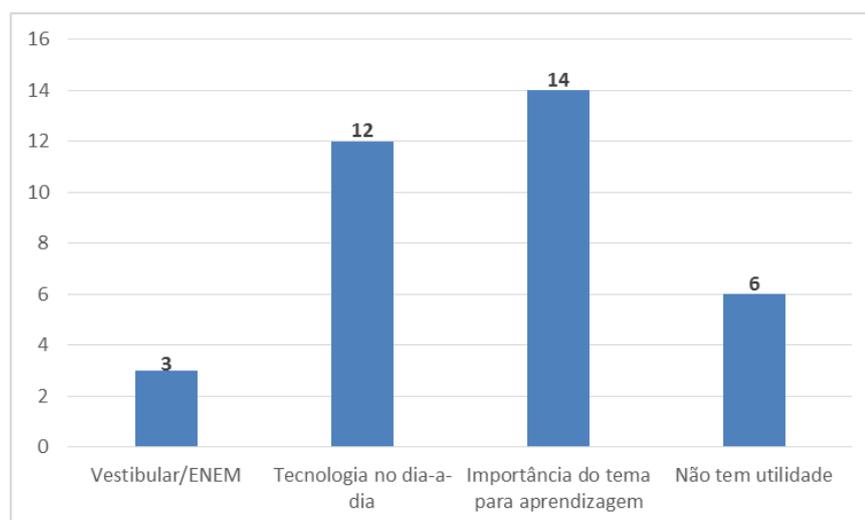


Gráfico 5: Número de respostas caracterizadas na dimensão pragmática/utilitária. Fonte: os autores.

Assim como no gráfico 4, observamos no gráfico 5 que os estudantes entendem a importância do ensino do tema de refração negativa para a sua própria aprendizagem, justificando a sua importância no ensino de física. Além desse aspecto, eles destacam também o interesse em compreender durante as aulas mais sobre a física das tecnologias atuais:

“(…) nós precisamos estudar a tecnologia de agora, a tecnologia que vai ser estudada no futuro”.

“(…) é um conteúdo que deve ser estudado, pela importância que ele pode ter na sociedade”.

Com base nas respostas dos alunos, sobre o questionário aplicado, observamos que a sequência didática sobre refração negativa levantou diversas motivações quanto ao ensino de Física Contemporânea, tendo despertado mais o interesse dos estudantes pela ciência. Os gráficos 4 e 5 nos revelam que certo interesse dos estudantes pelo assunto de refração negativa está no fato deles se aproximarem mais da ciência produzida atualmente e nos faz refletir que talvez, com mais temas de física contemporânea sendo levados para as escolas, pode-se mudar a relação dos estudantes com a física, e talvez a sua aprendizagem com relação aos conceitos dessa disciplina.

Considerações finais

Sobre o ensino de Física Moderna e Contemporânea, há muitas dificuldades para se inserir certas temáticas na sala de aula, por questões de tempo, pelo foco que ainda se coloca nos vestibulares e no ENEM, entre outras razões. No caso deste trabalho, em que trabalhamos com o conceito de refração negativa, vivenciamos parte dessas dificuldades, como por exemplo na construção do planejamento

e nos materiais das aulas. Nos livros didáticos, por exemplo, não há uma abordagem detalhada sobre o conceito, e, entre os diversos livros usados, na elaboração da sequência didática, foi possível encontrar apenas em um deles uma abordagem sucinta sobre o conceito de refração negativa, em uma caixa de texto complementar. Consequentemente, para a elaboração da sequência didática, foi necessário recorrer a outros materiais, como artigos e dissertações que abordavam o conceito, mas não necessariamente de maneira didática e voltado ao Ensino Médio.

Através dos resultados obtidos e das análises quantitativas e qualitativas, podemos concluir com a pesquisa realizada, através da aplicação da sequência didática com as duas turmas do segundo ano do Ensino Médio, que a inserção de elementos da Física Contemporânea influencia positivamente no aprendizado dos alunos. E, além da questão do aprendizado, influenciou positivamente também com relação à motivação, levando a um aumento de interesse pelo assunto e pela ciência, de um modo geral.

Por outro lado, entendemos que os resultados também evidenciaram uma dificuldade no aprendizado, que deve ser observada não apenas em relação a complexidade do conteúdo a ser ensinado, mas também em relação a outras questões apontadas pelos próprios alunos, como por exemplo, a defasagem no aprendizado, a dificuldade em fazer relação de um conceito já aprendido com o conceito recentemente apresentado, a baixa na autoestima, entre outros aspectos.

Logo, o que podemos afirmar com esta pesquisa é que os alunos parecem ter interesse por temas atuais e ligados às novas tecnologias, o que nos leva a acreditar que a escolha por determinados conteúdos não deveria estar vinculada somente a sua complexidade ou a sua recorrência nos vestibulares. Além disso, fator importante a ser considerado são as condições de ensino pelas quais passam os alunos, considerando a forma como eles são preparados antes de chegarem no Ensino Médio, e se as metodologias e estratégias utilizadas foram adequadas à faixa etária e aos interesses dos estudantes. Esses aspectos tornam-se relevantes, pois podem facilitar ou dificultar a abordagem de temáticas diferenciadas, como é o caso da Física Contemporânea.

Referências

Brasil (2002). *Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+ – Ensino Médio)*. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Ministério da Educação e dos Desportos - MEC; SEMTEC, Brasília – DF.

Gircoreano, J. P. & Pacca, J. L. A. (2001). O ensino da óptica na perspectiva de compreender a luz e a visão. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*. v. 18, n.1: pp. 26-40. Acesso em 06 de set., 2023, <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6687>

Goulart, G. & Leonel, A. (2022). Revisão da Literatura sobre o Ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio sob a da TAS: Problemáticas Emergentes a partir de eventos brasileiros de Ensino de Física. *Revista Dynamis*. Vol. 28 (1), pp. 231 – 251. Acesso em 06 de set., 2023, <https://bu.furb.br/ojs/index.php/dynamis/article/view/10335>

Julião, C. & Albuquerque, S. (2021). Índices de Refração não Convencionais – Uma breve introdução à simetria PT. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Vol. 43 e20210107.

Acesso em 06 de set., 2023, <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0107>

Marconi, M. A. & Lakatos, E. M. (2011). *Técnicas de Pesquisa: Planejamento e execução de pesquisa, amostragens e técnicas de pesquisa, elaboração, análise e interpretação de dados*. 7ª Edição – São Paulo: Atlas.

Marques, T.; Martins, T.; Novais, A.; Gomes, L.; Paschoal, C.; Fernandes, C. & Ferreira, F. (2019). Ensino de física moderna e contemporânea na última década: revisão sistemática de literatura.

Scientia Plena Vol. 15 (7). Acesso em 06 de set., 2023,

<https://www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/4833>

Mayring, P. (2002). *Introdução a Pesquisa Social Qualitativa*. Uma introdução para pensar qualitativamente. 5ª ed. Weinheim: Beltz.

Moraes, R. (2007). Mergulhos Discursivos: análise textual qualitativa entendida como processo integrado de aprender, comunicar e interferir em discursos. In: M. C. Galiazzi & J. V. Freitas (orgs). *Metodologias Emergentes de Pesquisa em Educação Ambiental*. 2ª Edição (pp.85-114). Ijuí: Editora Unijuí.

Ostermann, F. & Moreira, M. A. (2000). Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa física moderna e contemporânea no ensino médio. *Investigações em Ensino de Ciências*. Vol. 5(1), pp. 23-48. Acesso em 06 de set., 2023, <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/600>

Paulo Neto, J. G.; Oliveira & A; Siqueira, M. (2019). Ensino de Física moderna e contemporânea no Ensino Médio: o que pensam os envolvidos? *ScientiaTec: Revista de Educação, Ciência e Tecnologia do IFRS*, Vol. 6 (1), pp. 65-89. Acesso em 06 de set., 2023, <https://periodicos.ifrs.edu.br/index.php/ScientiaTec/article/view/3204>

Sales, G. L.; Vasconcelos, F. H. L.; Castro Filho, J. A. & Pequeno, M. C. (2008). Atividades de modelagem exploratória aplicada ao ensino de física moderna com a utilização do objeto de aprendizagem pato quântico. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Vol. 30 (3). Acesso em 06 de set., 2023, <https://doi.org/10.1590/S1806-11172008000300017>

Santos, W. S. (2011). *Refração, as velocidades da luz e metamateriais*. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Terrazzan, E. (1992). A Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na Escola de 2º grau. *Cad.Cat.Ens.Fís.*, Florianópolis. v.9,n.3: p.209-214. Acesso em 06 de set., 2023, <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7392>