

UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA DE FÍSICA MODERNA: PERCEPÇÕES DE ALUNOS DE UMA PÓS *LATO SENSU* EM ENSINO

DIDACTIC SEQUENCE OF MODERN PHYSICS: PERCEPTIONS OF STUDENTS ON IN-SERVICE SCIENCE TEACHING

Edmundo Rodrigues Júnior 

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Espírito Santo, IFES
Cachoeiro de Itapemirim, ES, Brasil
edmundor@ifes.edu.br

Paulo José Pereira de Oliveira 

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Espírito Santo, IFES
Cachoeiro de Itapemirim, ES, Brasil
paulojoseo@ifes.edu.br

Tiago Destéffani Admiral 

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia Fluminense, IFF
Rio de Janeiro, RJ, Brasil
tdesteffani@gmail.com

Resumo. A física ensinada no ensino médio no Brasil prioriza principalmente tópicos relacionados à mecânica clássica, muitas vezes não oferecendo oportunidades para a compreensão e discussão de tópicos atuais do contexto de vida dos alunos. Neste artigo, apresenta-se o resultado de uma pesquisa qualitativa realizada com treze estudantes matriculados em uma pós-graduação em ensino de ciências naturais no qual o objetivo da proposta foi elaborar, aplicar e avaliar uma sequência didática de física moderna embasada na metodologia Instrução por Colegas (IpC) com algumas modificações. Com algumas adaptações, a sequência didática também pode ser aplicada no ensino médio. Escolheram-se tópicos da física moderna e contemporânea como tema norteador de nossa análise, acreditando que o ensino dessa matéria ainda é muito incipiente nas escolas de ensino médio do Brasil. Foram utilizadas oito aulas, totalizando 30 horas. Para analisar os dados, foram utilizadas premissas da técnica de análise de conteúdo. A sequência didática possibilitou que os alunos da pós julgassem o cenário do ensino da física moderna, além de oportunizarem ao professor atuar como mediador do conhecimento, ponderando as respostas fornecidas pelos alunos e privilegiando a evolução do conhecimento dos estudantes.

Palavras-Chave: ensino de ciências; física moderna; instrução por colegas; sequência didática.

Abstract. Physics taught in Brazil high school mostly prioritize topics related to classical mechanics, often not providing opportunities for understanding and discussing current topics of the students' living context. In this article, we show the result of a qualitative research conducted with thirteen students enrolled in a postgraduate course in natural science teaching in which the objective of the proposal was to develop, apply and evaluate a didactic sequence of modern physics based on the Instruction by Colleagues (IpC) methodology, but with some modifications. With some adaptations the didactic sequence can also be applied in high school. We chose modern and contemporary physics topics as a guiding theme for our analysis, believing that the teaching of this subject is still incipient in Brazil high schools. Eight classes we used totaling 30 hours. To analyze the data we used the technique of content analysis. The didactic sequence allowed the graduate students to judge the scenario of teaching modern physics, in addition to giving the teacher the opportunity to act as a mediator of knowledge, considering the answers provided by the students and prioritizing the evolution of the students' knowledge.

Keywords: science teaching; modern physics; instruction by colleagues; didactic sequence

INTRODUÇÃO

O ensino da física clássica ainda é predominante no Ensino Médio das escolas brasileiras. Mecânica Clássica, Termodinâmica e Eletromagnetismo são exemplos de ramos da Física Clássica que foram construídos antes do século XIX e aparecem constantemente nos currículos de física do ensino médio. Dessa forma, os estudantes “não têm contato com a pesquisa atual em Física, pois não veem nenhuma Física além de 1900” (Ostermann e Moreira, 2000, p. 24).

Pouco, ou nada da Física Moderna (FM), é lecionada nesse nível de ensino. Quando a carga horária da disciplina permite, os conteúdos geralmente ensinados são aspectos de relatividade restrita e noções de física quântica, como o efeito fotoelétrico.

O ensino de FM ou Física Moderna e Contemporânea (FMC) desperta a curiosidade dos alunos, auxilia a reconhecer a Física como uma construção humana e ainda pode atrair jovens para a carreira científica (Ostermann e Moreira, 2000, p. 24).

Além disso, os autores argumentam que a dificuldade e a abstração da física moderna não podem ser argumentos contrários à sua inserção na escola porque “[...] 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.” (Ostermann e Moreira, 2000, p. 24).

Em um artigo mais recente Neto et al. (2019) defendem a inserção da FM na escola com o fito de entender os fenômenos que a física clássica não consegue explicar. Os autores afirmam ainda que a FM possibilita a compreensão das necessidades mais relevantes que surgem no cotidiano do homem contemporâneo.

Infelizmente, temas atuais relacionados à FM como os buracos negros, microscopia eletrônica, semicondutores, supercondutividade, GPS, laser, ondas gravitacionais, acelerador de partículas, grafeno e computação quântica, praticamente não são abordados no ensino médio. Mesmo, há muito tempo, fazendo parte de orientações como a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (Brasil, 1996), Parâmetros Curriculares Nacionais (Brasil, 2000) e das Orientações Curriculares Nacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o ensino médio (Brasil, 2002).

Se os temas da FM ainda são poucos explorados no ensino médio, suas aplicações tecnológicas também são incipientes neste segmento de ensino. Cirurgia à laser, gravação de dados pelo sistema SSD (*Solid State Drives*), ressonância magnética, localização por GPS (*Global Positioning System*) e telefones celulares, são alguns exemplos de aplicações da física moderna que fazem parte do dia a dia atual do homem e que auxiliam no atendimento das suas necessidades.

Apesar da importância da inserção da FM na escola e suas aplicações práticas modernas, alguns fatores contribuem para a dificuldade de se ensinar este tema, especialmente no ensino médio, tais como: deficiência na formação inicial e continuada dos professores, desmotivação dos professores ante os baixos salários, falta de laboratórios, sobrecarga na preparação e elaboração de provas, tempo insuficiente destinado às aulas de Física e a não abordagem de FM do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) (Loch, 2011; Neto et al.-2019). Outra situação preocupante deve-se ao fato de que, infelizmente, a versão mais recente da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), diferentemente das orientações mencionadas anteriormente, excluiu a ênfase no ensino de FM:

Infelizmente, a ênfase no estudo da Física Moderna e o uso da História da Ciência foi eliminada na segunda versão. Nele, os “temas estruturantes” dos PCN foram praticamente renomeados para “unidades curriculares” e as “competências gerais” da área de Ciências da Natureza descritas no PCN foram renomeadas para “eixos formativos” [...]. (FIASCA, 2018, p. 14).

Compartilhamos com o desapontamento de Fiasca (2018), pois consideramos que a inserção da FM permite uma atualização dos conteúdos a serem ensinados, principalmente no ensino médio.

Os conteúdos de física moderna podem ser inseridos adotando metodologias de ensino não tradicionais. As pesquisas em ensino de ciências têm apontado para a necessidade de se adotar metodologias alternativas em substituição ao modelo tradicional (Araujo et. al., 2017; Paula et al, 2020; Moreira, 2018; Almenara et. al, 2019; Fiasca, 2019). Metodologias alternativas como as metodologias ativas ocorrem “a partir de problemas e situações reais; os mesmos que os alunos vivenciarão depois na vida profissional” (Moran, 2015). As metodologias ativas são importantes especialmente diante do perfil do estudante atual com acesso à informação (cursos, palestras, aulas prontas, exercícios resolvidos) por meio do celular ou *tablets*, na palma da mão. Além disso, elas possibilitam desenvolver dimensões nos estudantes, como as socioemocionais, por meio de atividades que envolvem a interação entre os estudantes e a autonomia estudantil (Fiasca, 2018; Oliveira, 2016).

Dentre as metodologias ativas, podemos citar as seguintes: 1 – *Peer Instruction* (Mazur, 2015), ou Instrução por Colegas (IpC) (Araujo et. al., 2017; Fiasca, 2019); 2 – Ensino sob Medida (Novak et. al., 1999); 3 – Sala de aula invertida (Lage et al., 2000); 4 - Estudo de Caso (Sá e Queiroz, 2007; Hygino et al., 2015); 5 - Pedagogia por projetos e por meio da resolução de problemas (Shitsura et al., 2017); 6 – Sequência de Ensino Investigativo (Carvalho, 2013); 7 - Demonstração de aulas interativas (Paranhos et. al., 2017) e 8 - Arco de Maguerz (Monteiro e Marcelino, 2018; Colombo e Berbel, 2007). Essas metodologias consideram o estudante como principal ator de sua aprendizagem e o professor assume o papel de

orientador e facilitador, orientando os alunos com as dificuldades que eles encontrarem (Ferreira e Moreira, 2017).

O IpC tem-se mostrado como uma ferramenta eficiente de ensino em diversas áreas do conhecimento (Paula et al, 2020). No ensino de Física, por exemplo, Paula et al. (2020) aplicaram o IpC e a teoria sociointeracionista de Vygotsky em uma disciplina de astronomia no ensino superior; Araujo et. al. (2017) aplicaram o IpC para ensinar circuitos elétricos em uma turma do ensino médio integrado; Moreira e Ferreira (2017) relataram experiências na aplicação do IpC em uma faculdade privada e concluíram que a metodologia amplia a eficiência no processo de ensino-aprendizagem; e Fiasca (2018) usou o IpC em combinação com as metodologias Ensino sob Medida e Sala de Aula Invertida para ensinar Teoria da Relatividade em uma turma do 1º ano do ensino médio. Ele verificou que a utilização de metodologias ativas aliadas à Aprendizagem Móvel (*m-learning*), nesse caso o celular, permitiu a interação e colaboração entre os estudantes, proporcionando uma aprendizagem mais significativa.

Este trabalho retrata as etapas de elaboração, aplicação e avaliação de uma sequência didática de FM baseada no Ipc com algumas modificações, entre as quais a utilização de questões discursivas e uma disponibilidade maior de tempo para a realização das atividades. Assim, pretendemos responder à seguinte questão: Quais as percepções dos alunos de uma pós-graduação *lato-sensu* em ensino de Ciências Naturais sobre uma sequência didática elaborada para ensinar FM no Ensino Médio?

A seguir detalharemos nosso quadro teórico. Em seguida, abordaremos o procedimento metodológico da pesquisa detalhando o tipo de pesquisa utilizado e a técnica de análise. Posteriormente, apresentaremos os resultados e discussões destacando as visões dos alunos em relação à sequência didática aplicada e seu potencial uso para ensinar FM para o ensino médio. Finalmente, mostramos as considerações finais e as referências.

REFERENCIAL TEÓRICO

Para Porlán e Rivero (1998), as atuações e concepções dos professores ante o processo de ensino-aprendizagem podem ser representadas por meio de quatro modelos didáticos: 1) o tradicional, 2) o tecnológico e 3) o espontaneísta, caracterizado como modelo de transição, e 4) o modelo investigativo. No quadro mostra-se um comparativo dos quatros modelos didáticos:

Quadro 1. Comparativo dos modelos didáticos (Porlán e Rivero, 1998).

MODELOS DIDÁTICOS	DESCRIÇÃO
Tradicional	Caracteriza-se pela transmissão de conhecimentos, na qual os conteúdos são pensados em sequências lineares e rígidas; a metodologia é a transmissão verbal do professor e uso quase exclusivo do livro-texto; avalia-se a memorização mecânica dos conteúdos e não considera o conhecimento prévio do aluno; o professor tem papel ativo, enquanto o aluno, passivo (Delamura et.al., 2018; Edmundo et al., 2019; Hygino et al., 2015; Marcelino et al., 2013; Pólan e Rivero, 1998).
Tecnológico	Tem o objetivo de ensinar adequadamente as ciências, utiliza-se de material didático atualizado e tem planejamento metodológico rigoroso; a avaliação tem como objetivo quantificar a aprendizagem e verificar a eficiência desta sistemática de ensino; o aluno tem, ainda, papel passivo (Edmundo et al., 2019; Hygino et al., 2015; Marcelino et al., 2013; Pólan e Rivero, 1998).
Espontaneísta	As ideias dos alunos têm ênfase, os conteúdos atendem aos seus interesses, as atividades não são previamente planejadas, valoriza-se apenas a experiência dos professores, e a avaliação ocorre por meio da participação dos alunos. (Edmundo et al., 2019; Hygino et al., 2015; Marcelino et al., 2013; Pólan e Rivero, 1998).
Investigativo	Propõe um ensino no tanto alunos quanto professores exercem um papel ativo; enfatizam-se as situações-problema que exigem dos alunos posturas investigativas, nas quais, devem elaborar hipóteses e propor soluções; as atividades são contextualizadas, com temas socialmente relevantes e com incentivo da atuação dos alunos; a avaliação visa identificar as dificuldades dos alunos e promover reflexões sobre a construção dos conhecimentos dos estudantes (Edmundo et al., 2016; Hygino et al., 2015; Marcelino et al., 2013; Pólan e Rivero, 1998).

Percebemos, portanto, que o professor que possui a crença no modelo investigativo conhece, minimamente no âmbito teórico, as ações para que o estudante seja o agente do processo de ensino-aprendizagem, e não apenas um receptor de informações. Para conduzir o aluno nesse ensino ativo, é necessário que o professor construa uma educação por meio do diálogo, conforme sugere Paulo Freire: “o fundamental é que o professor e alunos saibam que a postura deles, do professor e dos alunos, é dialógica, aberta, curiosa, indagadora e não apassivada, enquanto fala ou enquanto ouve” (Freire, 1996, p.52).

As metodologias ativas podem operacionalizar a crença dos professores nos modelos investigativos, além disso podem ser um caminho para “dar voz” ao aluno, pondo-o, no centro do processo de aprendizagem, como o protagonista de seu aprendizado (Freire, 1996).

As metodologias ativas “baseiam-se em formas de desenvolver o processo de aprender, utilizando experiências reais ou simuladas, visando condições de solucionar, com sucesso, desafios advindos das atividades essenciais da prática social, em diferentes contextos” (Berbel, 2011, p.29). A autora cita o trabalho de Mitri et al. (2008) que explicam sobre a importância da etapa de problematização para os alunos debaterem, se sentirem motivados, refletirem e ressignificarem suas percepções (ibid). Portanto, as metodologias ativas têm em comum promover o aluno da condição de passividade para protagonista do processo educativo. O professor será o mediador, estabelecendo as pontes necessárias para que o aluno transforme seu conhecimento de senso comum e científico.

PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Contexto da pesquisa e público-alvo

A disciplina Tópicos Especiais de Física (TEF), na qual a proposta didática foi implementada, possui carga horária de 30 horas e foi ofertada presencialmente durante o 1º trimestre de 2019. Participaram da pesquisa treze estudantes da área de física, regularmente matriculados na pós-graduação em Ensino de Ciências Naturais. Temas relacionados à Física Moderna e Contemporânea foram abordados em oito encontros (ver tabela 1 do item 4.1).

Após o 8º e último encontro, disponibilizamos aos alunos as etapas da Ipc descritas na tabela 2 (ver item 4.2) e as etapas da nossa sequência didática disposta na tabela 3 (ver item 4.3). Em seguida, pedimos para que eles apontassem os pontos semelhantes e distintos da nossa sequência didática em relação às etapas do Ipc. Entendemos que uma forma de avaliar nossa sequência didática seria solicitar aos alunos que percebessem as diferenças e semelhanças entre nossa sequência didática e as etapas do Ipc (amplamente divulgadas na literatura científica) e opinassem sobre elas, que são amplamente divulgadas na literatura científica. Conforme relatado na introdução, boas experiências com o método Ipc são descritas em Araujo et. al. (2017) e Moreira e Ferreira (2017).

É importante ressaltar que os alunos já tinham conhecimento do Ipc na disciplina de Metodologia da Pesquisa em Ensino de Ciências, ministrada concomitantemente com a disciplina TEF, na qual foi desenvolvida a pesquisa.

Trechos das respostas dos alunos dos outros encontros foram também utilizados como instrumentos de coleta de dados, para fundamentar nossa análise e compreender os conhecimentos dos estudantes/professores em relação à FM e seu ensino.

Pesquisa Qualitativa

A pesquisa qualitativa busca “compreender e aprofundar os fenômenos, que são explorados a partir da perspectiva dos participantes em um ambiente natural e em relação a um contexto” (Sampieri et al., 2013, p.376). Ainda segundo os autores, a pesquisa qualitativa é escolhida “quando buscamos compreender a perspectiva dos participantes [...] sobre os fenômenos que os rodeiam, aprofundar em suas experiências, pontos de vista, opiniões e significados, isto é, a forma como os participantes percebem subjetivamente sua realidade” (Sampieri et al., 2013, p.376).

Nosso trabalho encaixa-se na pesquisa qualitativa porque nos interessa as opiniões e os pontos de vista dos estudantes em relação a uma sequência didática para o ensino de física moderna. A sequência didática foi elaborada pelos autores deste trabalho e aplicada aos alunos da pós-graduação.

A técnica para analisar os dados: a análise de conteúdo

Para analisar os dados, utilizaremos pressupostos da técnica denominada “análise de conteúdo”. Bardin (1977) define três etapas para tratar qualitativamente os dados de uma pesquisa através da análise de

conteúdo: a) a pré-análise; 2) exploração do material, 3) tratamento dos resultados, as inferências e a interpretação. Sobre a pré-análise podemos afirmar que:

[..]corresponde a um período de intuições, mas, tem como objetivo tornar operacionais e sistematizar as ideias iniciais [...] possui três missões: a escolha dos documentos a serem submetidos à análise, a formulação de hipóteses e dos objetivos e a elaboração de indicadores que fundamentem a interpretação final” (Bardin, 1977, p.95).

A exploração do material “[...] consiste essencialmente de operações de codificações, desconto ou enumeração, em função de regras previamente formuladas” (Bardin, 1977, p.101). Nesta fase, ocorre também a seleção das unidades de significado (US) ou registro (UR) que podem ser frases ou palavras obtidas nas respostas dos estudantes, em torno das quais serão agrupados os textos escritos e as transcrições das falas dos alunos.

A partir das US, inicia-se o processo de categorização dos dados obtidos na pesquisa. “A categorização é uma operação de classificação de elementos constitutivos de um conjunto, por diferenciação e seguidamente por reagrupamento segundo o gênero (analogia), com os critérios previamente definidos (Bardin,1977, p.117)”. Ela pode ser definida antes do processo de análise (categoria *a priori*- definida pelo referencial teórico) ou pode emergir das unidades de significado (categoria *a posteriori*)¹. No nosso caso, as categorias foram definidas *a posteriori*, uma vez que elas aparecerem a partir das unidades de registro.

O tratamento dos resultados, as inferências e a interpretação, consistem na análise propriamente dita, nesta fase:

Os resultados brutos são tratados de maneira a serem significativos (“falantes”) e válidos. Operações estatísticas simples (porcentagens), ou mais complexas (análise fatorial) permitem estabelecer quadros de resultados, diagramas, figuras e modelos, os quais condensam e põem em relevo as informações fornecidas pela análise (Bardin, 1977, p.101).

Acreditamos que a “lapidação” dos resultados brutos possa ser feita através da análise das US, à luz dos pesquisadores que escrevem sobre as categorias às quais pertencem as US. A figura 1 traz alguns exemplos das etapas da análise de conteúdo utilizada no contexto do nosso trabalho.

¹ Ver Bardin (1977. p.119).

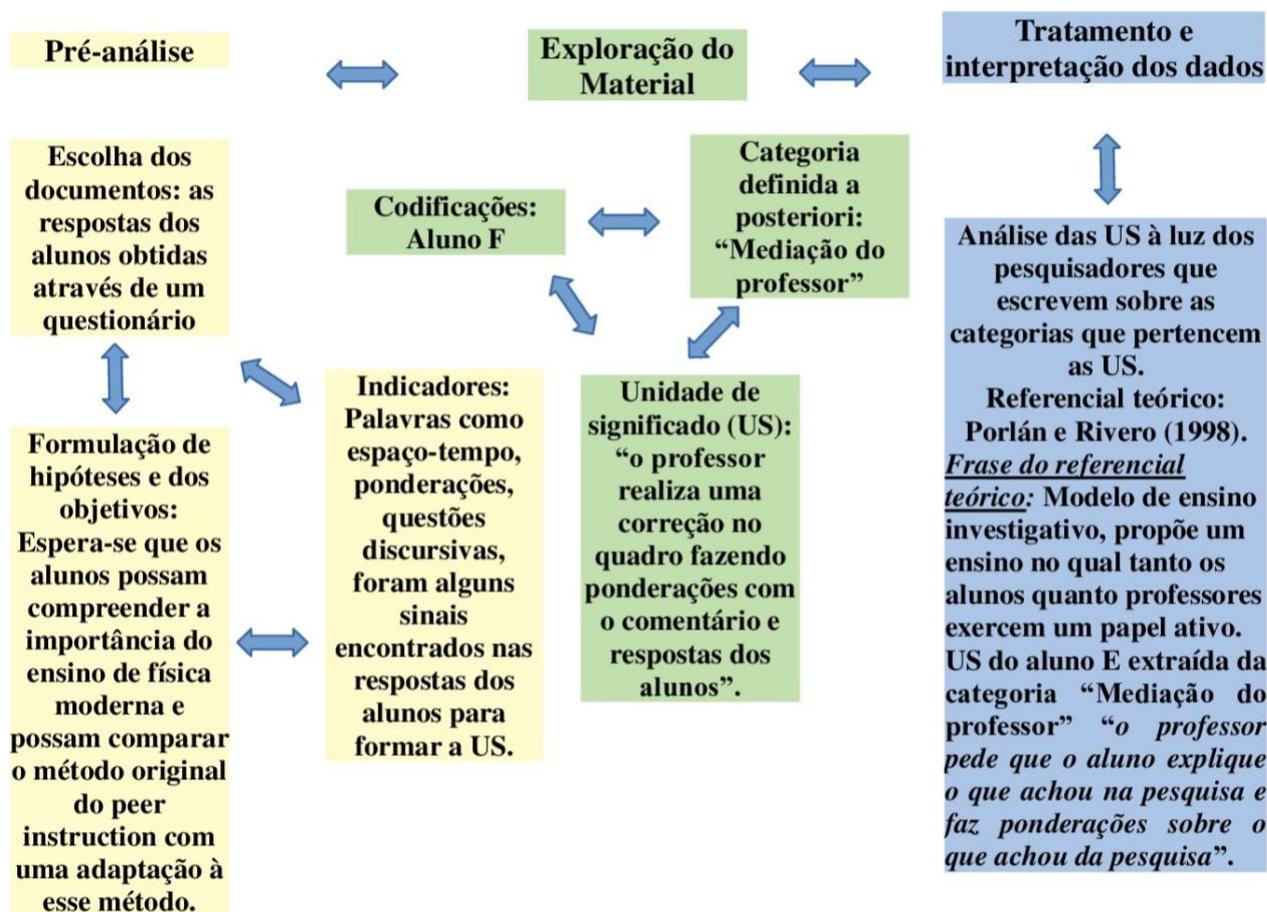


Figura 1. Etapas dos pressupostos da análise de conteúdo aplicadas no contexto do nosso trabalho.

Fonte: arquivo pessoal, 2020.

Todas as etapas descritas na Figura 1 são cíclicas e flexíveis, como sugere uma pesquisa de cunho qualitativo. A seguir mostraremos o resultado de nossa análise, obtido utilizando pressupostos da técnica análise de conteúdo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os conteúdos trabalhados

Na tabela 1, mostram-se os conteúdos trabalhados.

Tabela 1. Conteúdos de física moderna e contemporânea abordados nos encontros.

ENCONTROS	CONTEÚDOS	CARGA HORÁRIA	DATA
1º	Definição de física moderna; impacto para ciência e tecnologia no último século e atual;	3,5h	06/04/2019
2º	Importância do ensino de Física Moderna e Contemporânea; início da Física Quântica: corpo negro, fóton,	3,5h	12/04/2019
3º	Buracos negros, impacto científico da descoberta dos buracos negros; efeito fotoelétrico.	4h	27/04/2019
4º	Ciências físicas: produção acadêmica x produção industrial; efeito Compton.	3,5h	03/05/2019
5º	Ensino de Física Moderna para estudantes com deficiência visual; nanotubos de carbono e grafeno; fulerenos.	4h	11/05/2019

6º	Microscopia eletrônica: microscópio eletrônico e sua importância para o avanço da ciência; microscópio eletrônico x microscópio óptico; tipos de microscópios eletrônicos e a diferença entre eles. Difração, raios x, comportamento dual da radiação e da matéria.	4h	18/05/2019
7º	Sequência didática sobre o ensino de Física Moderna; equação de Schrödinger	4h	24/05/2019
8º	Teoria da Relatividade; avaliação dos alunos sobre o método da aprendizagem por pares.	3,5h	31/05/2019

Fonte: dados pessoais.

Tanto a ordem, quanto a escolha dos conteúdos foram definidas tomando como referência os livros didáticos de graduação, por exemplo, Halliday et al. (2009), e ensino médio Biscuola et al., 2010; Kantor et. al., 2010; Da Luz e Álvares, 2011; Bonjorno et. al, 2016; Júnior et al., 2007).

A Sequência didática

As atividades dos oito encontros foram elaboradas de acordo com pressupostos da IpC. Segundo Mansur (2015), a IpC é uma estratégia eficiente para o ensino de física e procura desenvolver a capacidade dos estudantes em resolver problemas priorizando a interação entre os discentes durante as aulas expositivas. Mansur, na década de 1990 criou um método baseado na pedagogia não diretiva, estabelecendo testes conceituais de Física com potencial para a interação entre alunos com a mediação do professor. As etapas do IpC estão resumidas na tabela 2.

Tabela 2. Resumo das etapas do IpC. Fonte: Adaptado de Butchart et al. (2009).

ETAPAS	AÇÕES
1ª	Os conceitos sobre um tema são apresentados por um curto período de tempo, em no máximo 15 minutos sem interrupção.
2ª	Exibição de uma questão de múltipla escolha sobre o tema apresentado
3ª	Os alunos são informados que tem 3 minutos para ler a questão e a ela responder.
4ª	Os alunos escolhem a alternativa que consideram correta, levantando simultaneamente <i>flash cards</i> com as letras A, B, ou C.
5ª	O professor avalia as respostas e informa a classe sobre a distribuição geral de respostas.
6ª	Se a maioria dos alunos escolheu a resposta certa, o professor confirma e passa para a próxima questão.
7ª	Caso ocorra grande divergência nas respostas, o professor deve estabelecer um tempo de aproximadamente 2 minutos para que cada aluno defenda suas respostas com o colega ao seu lado.
8ª	Depois de realizar as discussões em pares, a classe, então, vota a resposta novamente e voltamos para a etapa 5.
9ª	Se a proporção de alunos com a resposta certa aumentou após a discussão, o professor pode confirmá-la e passar para o próximo tópico ou questão. Se não, o professor pode querer explicar a resposta certa antes de passar.

Assim como a IpC, a sequência didática apresentada por nós também prioriza a interação entre aluno-aluno e entre aluno-professor, além de proporcionar oportunidades para revisão das respostas dos alunos e aposta no professor mediador para a construção do diálogo com os alunos. As etapas e as ações envolvidas na sequência didática estão mostradas na Tabela 3.

Tabela 3. Resumo das etapas da sequência didática aplicada neste trabalho.²

ETAPAS	AÇÕES
1 ^a	Os conceitos sobre o tema são apresentados por um texto motivador, tirado de um artigo científico, ou página de internet confiável ³ .
2 ^a	Exibição de uma questão discursiva sobre o tema.
3 ^a	Os estudantes são informados que possuem entre 5 a 30 minutos para realizarem suas pesquisas/atividades individualmente. O tempo depende do tamanho da atividade.
4 ^a	Cada estudante compartilha com o colega ao lado o resultado de suas pesquisas e complementa, se achar necessário, suas respostas em uma folha separada.
5 ^a	O professor pondera e destaca as respostas dos alunos no quadro e havendo necessidade complementa as respostas.
6 ^a	Os estudantes anotam, em uma folha separada, suas percepções após a ponderação e complementação do professor. Em seguida, o professor passa para o próximo conteúdo.

Fonte: os autores.

Conforme observado nas seis etapas da tabela 3, nossa proposta de sequência didática apresenta pontos distintos com a IpC: o conceito a ser trabalhado é retirado de um artigo científico publicado em periódicos revisado por pares ou página da internet confiável; as questões discursivas propiciam uma maior liberdade de respostas dos alunos e possibilita o registro de dados para a discussão das respostas, utilizando a técnica da análise de conteúdo; o tempo para os alunos pesquisarem e apresentarem suas respostas é maior que o tempo destinado para a sequência didática apresentada no IpC. Por se tratar de etapas exclusivas para questões objetivas, as etapas 4^a, 5^a e 6^a do IpC não se aplicam à nossa proposta de sequência didática.

É importante salientar que não pretendemos promover a descaracterização do método IpC, pois sabemos que os testes conceituais são como impressões digitais do IpC. Decidimos, no entanto, utilizar questões abertas e não testes conceituais por entender que a primeira oportuniza uma maior liberdade de expressão dos alunos.

O corpus analisado

Analisaremos um texto elaborado pelos alunos após o 8.º e último encontro, no qual eles apontam as semelhanças e as diferenças entre as etapas do IpC (descrito na tabela 2) e a nossa proposta de sequência didática. Ademais, excertos dos outros encontros foram retirados para fundamentar nossa análise e compreender os conhecimentos dos professores em relação à FM e sua transposição didática. Assim, nosso *corpus* representa os registros desses alunos coletados ao longo da disciplina TFM.

A Tabela 4 explicita as categorias, a quantidade de unidades de significado e exemplos dessas unidades obtidas do nosso *corpus*.

Tabela 4. Unidades de significado (US) e categorias obtidas na pesquisa.

CATEGORIAS	QUANTIDADE DE US	EXEMPLOS DE US
Tempo para a realização das atividades	10	“na aula de TEF temos um tempo maior que 3 minutos, são 15 minutos sobre o tema proposto” (ALUNO E).
Interação entre os alunos	7	“após a resposta de cada aluno é feita uma troca de informações realizada em dupla e cada aluno tem o direito de complementar sua resposta” (ALUNO F).
Tipos de questões	7	“são utilizadas questões discursivas que aumenta o campo de ideias a serem apontadas uma vez que as questões de

²Todas as atividades da sequência didática estão disponíveis no endereço: <https://drive.google.com/file/d/1hNlgnY67i-Ksm3-IqDbhy0aOobcDBtpV/view?usp=sharing>. Para aplicação no ensino médio, sugerimos retirar os recortes de textos de artigos científicos (presentes nas aulas 1, 2, 3, 5 e 7) relacionados a reflexões do ensino de FM. Além disso, alguns conteúdos, como por exemplo: equação de Schrödinger e microscopia eletrônica, podem ser ajustados e selecionados pelo professor de forma a dar mais ênfase a aspectos mais qualitativos, como a parte histórica, impacto e aplicações.

³Uma fonte foi considerada confiável porque passou pelo crivo dos autores desse trabalho, que possuem formação e experiência para lecionar física moderna para o ensino médio e superior.

		múltipla escolha gera o debate apenas em torno de uma ideia já expostas” (ALUNO I).
Mediação do professor	7	“o professor realiza uma correção no quadro fazendo ponderações com o comentário e respostas dos alunos” (ALUNO F).
Avaliação	4	“o professor avalia as respostas juntamente com os alunos” (ALUNO D).

Fonte: dados pessoais.

Ressaltamos que a quantidade total de unidades de significado é maior que o número de participantes, porque as respostas dos alunos se enquadravam em mais de uma categoria. A seguir analisaremos os dados da pesquisa através das cinco categorias relatadas na tabela 3.

Análise das respostas dos alunos

Categoria 1: Tempo para a realização das atividades.

Na sequência didática trabalhada, foi dado um tempo maior para a realização das atividades em relação à proposta original do método IpC.

Na aula de TEF temos um tempo maior que 3 minutos, são 15 minutos sobre o tema proposto (ALUNO E).

A grande diferença condiz com o tempo limite proposto em algumas etapas (ALUNO H).

Temos mais tempo para pesquisa e debate (ALUNO L).

[...] esse tempo é uma estimativa estando aberto a discussões (ALUNO K).

O tempo destinado para executar a atividade, bem como o tempo relatado pelos alunos na citação anterior, é o tempo didático, ou seja, aquele que segundo Pais (2016) se refere ao planejamento da escola e prevê um caráter cumulativo e linear para a construção do conhecimento. Este mesmo autor, no entanto, afirma que o tempo didático, se difere do tempo de aprendizagem, uma vez que este último está relacionado aos conflitos entre os estudantes e o objeto do conhecimento, não sendo sequencial e nem linear.

Como os encontros aconteciam aos finais de semana, e o professor disponibilizava a sequência didática antes dos encontros, o estudante poderia se organizar e refletir sobre as atividades propostas antes do encontro, tendo mais chance de obter êxito na incorporação dos conteúdos trabalhados.

Na atividade do 6.º encontro, por exemplo, foram destinados aproximadamente 15 minutos para que os alunos pesquisassem sobre microscópio eletrônico e tentassem responder, entre outros itens, sobre a importância desse microscópio para o avanço da ciência. É importante relatar que, em quase todas as aulas, os estudantes tinham um desktop com acesso à internet. Quando não foi possível disponibilizar uma sala com computadores, as aulas eram realizadas na biblioteca ou disponibilizavam-se livros, de forma que os alunos pudessem ter acesso a materiais de pesquisa. O celular com acesso à internet foi também muito utilizado. No quadro 2, mostra-se a questão sobre o microscópio eletrônico:

Quadro 2. Sequência didática: Microscopia Eletrônica⁴

Atividade 17(individual) (± 15 minutos) Pesquise sobre microscópio eletrônico e tente responder às seguintes perguntas:

- Pesquise sobre microscópio eletrônico e sua importância para o avanço da ciência.
- O microscópio eletrônico tem um poder de resolução muito maior que o microscópio óptico. Como isso pode ser explicado?
- Quais são os dois tipos de microscópio eletrônico? Qual a diferença de funcionamento entre ambos?

Atividade 17.1 - (Em grupo) - Discuta sua resposta com o colega do lado e, se necessário, em uma folha separada, coloque suas respostas revisadas. (± 10 minutos).

Atividade 17.2 - Ponderação do Professor: ± 10 minutos

⁴ Para esta atividade sugerimos como material de pesquisa o artigo escrito por Valadares (1992).

4.4.2- Categoria 2: Interação entre os alunos

A interação entre os discentes foi um aspecto relatado por eles durante os encontros, conforme podemos constatar no texto a seguir:

Constata-se que a metodologia aplicada na sala é mais interessante pois aumenta a interação entre os alunos (ALUNO B).

[...] após as respostas individuais, é discutida a resposta com o grupo (ALUNO K).

Após a resposta de cada aluno é feita uma troca de informações realizada em dupla e cada aluno tem o direito de complementar sua resposta. (ALUNO F).

Com o diálogo os alunos podem complementar suas ideias e conhecimentos prévios. Impulsiona a participação do aluno durante a aula (ALUNO I).

Um exemplo de interação entre os alunos foi por meio da atividade realizada no 8.º encontro. O professor mediador disponibilizou um texto aos alunos o qual relatava o funcionamento do GPS. O texto é mostrado no quadro 3.

Dos muitos milagres tecnológicos de que dispomos no século XXI, e que teriam sem dúvida parecido magia a gerações passadas, existe um que mudou completamente a forma como nos orientamos a superfície do planeta Terra: o Sistema de Posicionamento Global, ou GPS na sigla inglesa (de Global Positioning System). O seu aparecimento alterou a forma como se navega, como se conduzem guerras, e até os mapas (que se julgavam rigorosos) de cidades tão cartografadas nos últimos séculos como Paris ou Nova Iorque. O seu funcionamento é quase uma epítome da ciência e engenharia modernas: baseia-se num sistema de satélites (engenharia aeroespacial) que emitem sinais de rádio (engenharia de telecomunicações), cujo tempo de propagação é medido por relógios atômicos (Mecânica Quântica) tão precisos que requerem correções devidas à dilatação do tempo (Teoria da Relatividade), sendo o cálculo da posição realizado em tempo real por um aparelho que cabe na palma da mão (engenharia de computadores). (Natário, 2015, p.1)

Quadro 3. Texto sobre GPS.

A escolha deste texto permite ao estudante compreender qual aspecto da Física Moderna, por exemplo, a dilatação do tempo, está presente no nosso cotidiano.

Em seguida, foi proposta uma sequência de atividades, que é mostrada no quadro 4:

Sobre teoria da relatividade, pesquise e tente responder a questão abaixo:
Pesquise sobre os aspectos históricos da teoria, como por exemplo, data de criação, cientista que desenvolveu, dificuldades encontradas no desenvolvimento da teoria, aceitação pela comunidade científica.

Atividade 26.1 (Em Grupo) (± 10 minutos) - Discuta sua resposta com o colega do lado e, se necessário, em uma folha separada, coloque suas respostas revisadas. (± 5 minutos).

Atividade 26.2 Ponderação do Professor: (± 10 minutos) - Após a explicação do professor, anote se necessário, em uma folha separada, anote suas respostas revisadas.

Atividade 27 (Individual) (±15 minutos) – Pesquise sobre aspectos quantitativos da teoria, por exemplo, teoremas, equações, algum exemplo simples de aplicação.

Atividade 27.1 (Em Grupo) (± 10 minutos) - Discuta sua resposta com o colega do lado e, se necessário, em uma folha separada, anote suas respostas revisadas. (± 5 minutos).

Atividade 27.2 - Ponderação do Professor: (± 10 minutos) - Após a explicação do professor, anote se necessário, em uma folha separada, suas respostas revisadas.

Quadro 4. Sequência didática sobre teoria da relatividade (continuação do quadro 2)

Mayer (1990), citado no trabalho de Martins (2010), argumenta que é importante compreender a evolução das ideias a partir de sua origem até a atualidade, porque permite entender as controvérsias ou conceitos atuais.

Após leitura do texto, os estudantes teriam que pesquisar aspectos da história da teoria da relatividade e, em seguida, anotar suas respostas e debater sobre o assunto em duplas. Percebemos que os alunos relataram principalmente a mudança de concepção do espaço-tempo advinda com a construção da teoria da relatividade:

Problemas encontrados foram a aceitação acadêmica por quebrar espaço e tempo absolutos para observadores diferentes, estipulando uma mudança de compreensão destes elementos determinando a união do espaço e tempo sendo espaço-tempo fundidos (ALUNO A).

Não foi aceita de imediato, uma vez que não conseguem assimilar que tempo e espaço estão juntos (ALUNO I).

Trata o espaço-tempo como correlatos e não separadamente como Newton. (ALUNO G).

Os relatos dos alunos estão coerentes com as ideias apresentadas por Einstein e Infeld (2008) no livro a “Evolução da Física”. Os autores explicam que o registro das medidas do espaço e o do tempo é diferente para dois sistemas de coordenadas (SC) com velocidade relativa próxima à da luz:

De acordo com a teoria da relatividade, o tempo de colisão de uma pedra com o solo não será o mesmo para todos os observadores. A coordenada do tempo e a coordenada do espaço serão diferentes em dois SC, e a alteração na coordenada de tempo será assaz distinta se a velocidade relativa for aproximada da velocidade da luz. O contínuo bidimensional não pode ser dividido em dois contínuos unidimensionais como na física clássica. Não devemos considerar o espaço e o tempo em separado ao determinarmos as coordenadas do espaço-tempo em outro SC. A divisão do contínuo bidimensional em dois contínuos unidimensionais parece ser do ponto de vista da teoria da relatividade, procedimento arbitrário, sem significado objetivo (Einstein e Infeld, 2008, p.174)

Conclui-se, de acordo com essa teoria, que o tempo e o espaço se ajustam para garantir a constância da velocidade da luz.

O aluno J relatou que a teoria da relatividade provocou um “confronto com a já bem aceita teoria da Gravidade Universal de Newton”. Segundo a mecânica clássica, o espaço era absoluto e rígido, como se fosse um palco fixo onde ocorrem os eventos científicos. No entanto, segundo a teoria geral da relatividade de Einstein, um campo gravitacional intenso como o sol seria capaz de desviar a trajetória da luz e deformar o espaço ao seu redor. Para comprovar esse efeito, seria necessário obter duas fotografias:

[...] uma do campo de estrelas durante a passagem do corpo maciço (por exemplo, o Sol) diante dele e outra do mesmo campo de estrelas sem a presença desse corpo, e comparar, nas duas imagens, as posições das estrelas mais próximas da borda desse corpo. Se o efeito existisse, a posição dessas estrelas estaria ligeiramente modificada. Caso o Sol fosse usado como “corpo teste” para as ideias de Einstein restaria uma outra dificuldade, causada pela luminosidade do Sol, já que esta impediria que as estrelas mais próximas da sua borda fossem fotografadas. Obter as fotografias com o Sol no céu, mas sem a sua luz, seria possível em apenas uma única circunstância: durante um eclipse solar total (Videira, 2005).

Para a realização dos experimentos, os astrônomos fizeram duas expedições, uma na Ilha do Príncipe localizada na África e outra em Sobral, no Ceará. Em ambas as expedições, os astrônomos fotografaram as estrelas durante o eclipse do sol e também sem a presença dele.

Para o eclipse previsto para 1919, foram organizadas expedições para a Ilha do Príncipe e para Sobral, no interior do nosso velho Ceará, ambos escolhidos como locais mais favoráveis para a realização das observações. Quando a reunião conjunta da Royal Society e da *Royal Astronomical Society*, em Londres, em 6 de novembro de 1919, analisou os resultados obtidos e concluiu que eles confirmaram a teoria da relatividade geral de Einstein, em detrimento a teoria gravitacional de Newton, a repercussão da opinião pública mundial foi imediata (Freire Jr., 2011, p.293).

Os dois experimentos realizados para comprovar a teoria da relatividade contribuíram para uma visão mais real da ciência, porque ajudaram a refletir sobre o método empírico-indutivo, o qual parte sempre de um grande número de observações para obter as leis e conceitos por indução.

Voltando ao aspecto da interação entre os alunos, a pesquisa realizada pelos alunos de maneira individual, seguida das discussões em pares com um tempo maior para compartilhamento de ideias e percepções, propiciou uma aprendizagem mais descontraída, no sentido de que os estudantes interagiam entre si espontaneamente durante a aplicação, além de ter aguçado a curiosidade dos estudantes. Um exemplo, dessa curiosidade foi apresentado pela estudante K, que pesquisou a equação de campo de Einstein, que é geralmente abordada nas graduações em disciplinas de tópicos especiais, após o estudante

ter tido uma formação avançada em matemática e em física e ter concluído o estudo da relatividade restrita (veja a figura 1):

Equação de Campo de Einstein:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

$R_{\mu\nu}$ = Tensor de curvatura de Ricci
 $g_{\mu\nu}$ = Tensor métrico ('métrica')
 R = Curvatura escalar
 $T_{\mu\nu}$ = Tensor momento-energia

Relatividade Restrita:
 $\Lambda T = \Lambda T^{-1}$

Figura 1: Equação de campo de Einstein: fonte arquivo pessoal

Os estudantes ficaram interessados em entender o que era cada termo da equação e como ela poderia ser aplicada.

Acreditamos que a interação entre os alunos potencializou uma redução entre a distância entre o nível de desenvolvimento real, proposto por Vygotsky (1991, p.58), por problemas que o indivíduo soluciona independentemente, sem auxílio e; o nível de desenvolvimento potencial, que, ainda segundo o autor supracitado, é determinado através da solução de problemas em atividades compartilhadas.

4.4.3- Categoria 3 - tipo de questões

Em um artigo publicado na Revista Brasileira de Ensino de Física, Oliveira et al. (2017) fizeram uma revisão criteriosa sobre a produção acadêmica de problemas abertos no Ensino De Física nos últimos vinte anos. Os autores elegem um conjunto de características comuns aos problemas denominados abertos, tais como: a) nem todos os elementos do problema são fornecidos; b) diferentes possibilidades de soluções; c) incerteza sobre os conceitos e regras para a solução; d) necessidade de conhecimento de domínio e conhecimento procedimental; e) exige que os alunos façam julgamentos sobre o problema; f) refere-se a um contexto real g) requer aplicação de estimativas e idealizações por parte dos estudantes.

Como um exemplo, no quadro 5, mostrar-se um excerto de uma questão que se enquadra dentro das características de problemas abertos uma vez que possibilita aos discentes elaborarem um julgamento sobre o ensino de Física Moderna. O objetivo da questão era buscar um posicionamento dos alunos em relação à importância do ensino de Física Moderna e Contemporânea:

“A formação dos professores, no tocante ao ensino da Física Moderna e Contemporânea, mostra-se basicamente fundamentada nos preceitos da racionalidade técnico-instrumental. Essa perspectiva não contribuiu para a construção da autonomia e emancipação dos professores, produzindo reflexos no ensino de física de sala de aula. O estudo evidencia a necessidade de os professores formadores revisarem suas práticas de ensino, como também estudarem outras possibilidades de estruturação curricular, no tocante ao ensino da Física Moderna e Contemporânea” (Monteiro et al., 2012). Você concorda ou discorda? Qual a sua percepção sobre a afirmação acima?

Quadro 5: Atividade proposta da aula 2

Após a leitura do trecho do quadro 2, solicitamos aos alunos que respondessem individualmente a atividade e anotassem suas respostas. Nesta aula estavam presentes os alunos E, G, D, F, B, I e K, dos quais cinco concordaram com as afirmações do excerto (E, G, D, B e K) e dois concordaram parcialmente (F e I).

O aluno I, por exemplo, destacou no primeiro momento a necessidade de se conceder mais tempo para que o professor transcenda a racionalidade técnico-instrumental nas aulas de física moderna:

Em partes. Além das técnicas e métodos utilizados tem a questão da pouca carga horária disponível para ensino, visto que as práticas de alguns temas requerem um maior tempo para serem analisadas, elaboradas e até mesmo executá-las (ALUNO I)

Após ponderação do professor e dos outros colegas, o aluno I escreveu sua resposta revisada em uma folha separada:

Complementado: a racionalidade técnico-instrumental leva o professor a repassar os conteúdos pedidos sem questionar se é necessário ou não acrescentar ou extrair conhecimentos e faz com que o aluno apenas aceite o conhecimento repassado sem ao menos refletir e se perguntar sobre o que está aprendendo. (ALUNO I)

Ao interpretarmos a fala do aluno I após a discussão em grupo, acreditamos que ele deseja que os professores reflitam sobre quais conteúdos de Física Moderna devem ser ministrados na sala de aula, para evitar que os estudantes se apropriem acriticamente dos conteúdos ministrados pelos docentes.

De maneira geral os alunos compreendem que as questões discursivas têm o potencial de favorecer atividades investigativas e fomentar o debate:

*Ocorreram mais questões abertas do que de múltipla escolha (ALUNO C)
Na sequência didática das aulas de tópicos especiais, o tema é apresentado e em vez de questões objetivas de múltipla escolha, são exibidas questões discursivas ou temas para afinar a pesquisa. A partir daí os alunos discutem as respostas em pares e posteriormente com toda a turma e, se necessário o professor faz ponderações (ALUNO G)
São utilizadas questões discursivas que aumenta o campo de ideias a serem apontadas uma vez que as questões de múltipla escolha geram o debate apenas em torno de uma ideia já expostas (ALUNO I)*

As falas supracitadas foram retiradas da aula 8. Ao solicitar aos alunos que comparassem as semelhanças e diferenças entre a nossa proposta e as características do método original IpC, elas são descritas na tabela 2.

Conforme destacou o aluno G, as questões abertas propiciam o debate do tema pesquisado. Freire (2010) ressalta sobre a importância do diálogo entre os sujeitos para a transformação do mundo. Acreditamos que a interação entre os estudantes na sala de aula lhe oportunize adquirir subsídios teórico-metodológicos para melhorar a qualidade das aulas de física moderna.

4.4.4- Categoria 4: Mediação do professor

Para Porlán e Rivero (1998), o modelo de ensino investigativo propõe um ensino no qual tanto alunos quanto professores exercem um papel ativo. Enfatizam-se as situações-problema que exigem dos alunos posturas investigativas, nas quais, devem elaborar hipóteses e propor soluções. As atividades são contextualizadas com temas socialmente relevantes e com incentivo da atuação dos alunos.

Nesse sentido o professor deve atuar como um mediador e um investigador no processo de ensino-aprendizagem: Ao comparar o método IpC (ver itens 6 e 7 da tabela 2) com a nossa proposta, os alunos encontraram semelhanças entre o papel do professor na condução das aulas:

*[...] caso ocorra grande divergência nas respostas, o professor gera o debate e esclarece nas ponderações finais. (ALUNO D)
[...] o professor pede que o aluno explique o que achou na pesquisa e faz suas ponderações sobre o assunto da pesquisa (ALUNO E).
[...] o professor realiza uma correção no quadro fazendo ponderações com o comentário e respostas dos alunos (ALUNO F)
[...] se necessário, o professor faz ponderações (ALUNO G)
[...] discussão/ponderações com o professor (ALUNO J)
[...] Em seguida, ocorre a ponderação do professor que forma os conceitos através das respostas dos alunos (ALUNO K)
[...] o professor avalia as respostas e informa a classe sobre a distribuição geral da resposta (ALUNO M)*

Segundo o dicionário Aurélio, a palavra ponderar significa pensar excessivamente acerca de, refletir; avaliar, analisar e examinar detalhada e minuciosamente algo⁵.

A seguir, relatamos a atividade que gerou bastantes ponderações entre o professor e os estudantes, apresentada no primeiro dia de aula:

Atividade 1 (Individual) - Sobre a afirmação descrita em Domingui (2012): (± 10 minutos).

Não podemos mais estar à mercê de conteúdos com quase 150 anos de atraso. O avanço das tecnologias nos mostra que, cada vez mais, necessitamos de conhecimentos avançados. As tecnologias atuais não são mais baseadas tão somente nas leis de Newton, mas também em um conhecimento muito mais profundo (Domingui, 2012, p. 2502)

Você concorda ou discorda? Qual a sua percepção sobre a afirmação acima?

Atividade 1.1 (em grupo) - Discuta sua resposta com o colega do lado e, se necessário, em uma folha separada, anote sua resposta revisada. (± 5 minutos).

Atividade 1.2 - Ponderação do Professor: ± 10 minutos – Após a explicação do professor, anote, se necessário, em uma folha separada, suas respostas revisadas.

A aluna L relatou na atividade 1:

Concordo. Estamos numa era onde tudo muda a todo tempo, onde há uma necessidade de que algo novo seja criado a todo instante, com uma geração questionadora, crítica e investigativa. De acordo com essa necessidade cria-se conhecimentos mais avançados em diversas áreas, na física não seria diferente. Por isso o surgimento da Física Moderna, para esta dando suporte a esses avanços tecnológicos e tais avanços resulta em tecnologias baseadas em conceitos da Física Moderna (ALUNA L).

Na atividade 1.1, após a discussão com os colegas, segue a resposta da aluna L:

Depois do momento de diálogo com a companheira de estudos, vejo que abordei os resultados obtidos através dos avanços da física e em oposição, minha companheira abordou a concepção teórica entre a Física Clássica e a Física Moderna, apresentando pontos positivos na interseção na teoria de ambas as físicas (ALUNA L).

Após a ponderação do professor (atividade 1.2) a estudante L acrescentou as seguintes informações:

Quero ressaltar que a afirmação do presente artigo não desmerece as descobertas de Newton, somente afirma que as tecnologias de hoje não são baseadas apenas nas leis de Newton. Essas tecnologias são baseadas também em outras teorias (Física Moderna) e que também devem ser ressaltadas. Tendo isso consigo, para transmitir esse conhecimento (Física Moderna) mesmo sabendo das dificuldades, o professor poderá se adequar ao melhor método para obter êxito em seu ensino (ALUNA L).

Na atividade, é possível observar a evolução das respostas do estudante. Após a ponderação do professor, a estudante apresentou uma resposta mais direcionada a discussão do artigo. Este exemplo mostra como a interação pode contribuir para a aprendizagem.

4.4.5- Categoria 5: Avaliação.

Os alunos registraram o processo de avaliação da disciplina tópicos especiais de física, no qual foram abordados conteúdos de física moderna.

[...] o professor avalia as respostas juntamente com os alunos (ALUNO D)

[...] as respostas erradas também são comentadas explicando os motivos (ALUNO E)

⁵ Disponível em <<https://www.dicio.com.br/ponderar/>>, acessado em 04/06/2020.

[...] o professor oferece um tempo para os alunos escreverem as respostas corretas e analisadas por eles em uma 2ª folha [...] verifica se os alunos compreendem a matéria tirando dúvidas e seguindo em frente (ALUNO F)
[...] atualização das respostas em folha separada (ALUNO J).

Percebemos que as falas dos alunos corroboram com o ato de avaliar que, segundo Luckesi (2011):

[...] implica coleta, análise e síntese dos dados que configuram o objeto de avaliação, acrescido de uma atribuição de valor ou qualidade, que se processa a partir da comparação da configuração do objeto avaliado com um determinado padrão de qualidade previamente estabelecido para aquele tipo de objeto. O valor ou qualidade atribuídos ao objeto conduzem a uma tomada de posição a seu favor ou contra ele. E o posicionamento a favor ou contra o objeto, ato ou curso de ação, a partir do valor ou qualidade atribuídos, conduz uma decisão nova: manter o objeto como está ou atuar sobre ele (Luckesi, 2011, s.p.).

O Objeto de avaliação da nossa proposta foram as falas dos alunos durante a atividade, que se materializou nas suas anotações. As falas dos alunos implicaram numa tomada de decisão nova do professor mediador e dos alunos. O docente teria que decidir fazer, ou não, ponderações, julgando as respostas dos alunos e esclarecendo as dúvidas dos estudantes. Já os discentes teriam que optar em modificar, ou não, suas respostas após a mediação do professor.

A atividade realizada na Aula 3 buscou avaliar o conhecimento dos alunos em relação aos temas atuais da física contemporânea vinculados à realidade dos discentes. A seleção do conteúdo buracos negros aconteceu porque recentemente tinha sido destacado na mídia⁶ que os cientistas registraram pela primeira vez a foto deste fenômeno. Apresentamos no quadro 5, a atividade inicial proposta aos alunos.

Nas últimas décadas os avanços científicos e tecnológicos têm despertado nos jovens olhares mais atentos sobre temas relacionados às ciências de uma forma geral. É comum, nas aulas de física, os alunos trazerem discussões sobre assuntos que leram ou ouviram em revistas, jornais e telejornais e que, por serem mais atuais e/ou estarem presentes no seu dia a dia, despertam neles um interesse em conhecer e entender que princípios físicos explicam dado fenômeno. A lacuna provocada por um currículo de física desatualizado resulta numa prática pedagógica desvinculada e descontextualizada da realidade do aluno. Isso não permite que ele compreenda qual a necessidade de se estudar essa disciplina que, na maioria dos casos, se resume em aulas baseadas em fórmulas e equações matemáticas” (Oliveira et al., 2007).

Quadro 5. Atividade proposta da aula 3

Após a leitura deste trecho do quadro 5 perguntamos aos alunos qual a percepção deles sobre o tema. Em seguida solicitamos aos discentes que pesquisassem a definição de um buraco negro e qual o impacto científico desta descoberta.

O aluno G, por exemplo, destacou no primeiro momento sobre a importância dos buracos negros:

A imagem que comprova a existência de buracos negros é de grande importância para a ciência. Ela auxilia físicos e astrônomos a entender melhor estes corpos; ela confirma a teoria de Einstein (ALUNO G).

A existência de um buraco negro foi primeiramente prevista, em 1916, pelo físico alemão Karl Schwarzschild, que escreveu um artigo à academia prussiana de ciências. Neste artigo, ele afirma que:

as equações de campo gravitacional, então recentemente propostas por Einstein na teoria da relatividade geral, foram resolvidas para uma massa pontual no vácuo. A solução hoje é conhecida como solução de Schwarzschild, em homenagem ao seu autor. Tal solução pôde ser interpretada (e foi depois) como descrevendo um objeto astrofísico compacto, cujo campo gravitacional gerado por sua massa impede que mesmo a sua luz emitida escape para o exterior: nasce então o conceito de buraco negro, termo popularizado por John Wheeler nos anos de 1950 (Neves, 2017):

⁶ Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=E_EB0kNpDBY, acesso em 04 de junho 2020.

A foto confirma realmente a previsão de Schwarzschild e, portanto, a teoria da relatividade geral de Einstein.

Após ponderação do professor e dos outros colegas, o aluno G escreveu sua resposta revisada em uma folha separada:

Representou uma quebra de paradigma para muitos cientistas; comprovação observacional da existência de um buraco negro; maior compreensão da origem das estrelas (ALUNO G)

A percepção do estudante sobre a utilização da foto para comprovação da existência de buracos negros pode contribuir com a compreensão das estrelas, está de acordo com a literatura, conforme se pode observar a seguir:

De forma geral, buracos negros são formados pelo colapso gravitacional estelar. Uma estrela pode ser pensada como uma estrutura que se sustenta pelo equilíbrio da pressão, devido à fusão nuclear de seus constituintes, com a força gravitacional. Quando a força gravitacional começa a ganhar dizemos que a estrela entra em estágio de colapso: o combustível nuclear se esgota. A partir daí a densidade da estrela aumenta consideravelmente de forma que, ao passar de um determinado ponto (o raio de Schwarzschild e seu então horizonte de eventos), o espaço-tempo fica tão distorcido que nada mais consegue escapar. Temos então um buraco negro (Santi e Santarelli, 2019).

Assim, a avaliação privilegiou a evolução dos conhecimentos dos alunos porque oportunizou a revisão das respostas concedidas previamente por eles.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo, apresentamos a análise das percepções de alunos de uma pós-graduação em Ensino de Ciências Naturais sobre uma sequência didática de física moderna elaborada e aplicada para eles, mas possível de ser utilizada no ensino médio. Foi destinada uma carga horária de 30 horas, distribuídas em oito encontros, o que possibilitou trabalhar, mesmo que de forma qualitativa, alguns aspectos da FM.

A sequência didática foi elaborada a partir de tópicos de física moderna, por exemplo, buracos negros, microscopia eletrônica e Teoria da Relatividade. Por se tratar de um curso de pós-graduação *lato sensu* em Ensino de Ciências direcionada a professores de Física do ensino médio, foi reforçada a importância do ensino de FM na sociedade atual.

Para responder à questão da pesquisa, sobre quais as percepções dos alunos de uma pós-graduação *lato- sensu* em ensino de Ciências Naturais sobre uma sequência didática elaborada para ensinar Física Moderna no ensino médio, agrupamos as respostas dos discentes em cinco categorias: 1) tempo para realização das atividades; 2) interação entre os alunos; 3) tipo de questões, 4) mediação do professor e 5) avaliação.

A sequência didática contribuiu e ampliou a discussão dos estudantes durante as atividades, além de favorecer a mediação do professor. Como destacou o aluno G, na categoria 3 o tema abordado com nossa proposta “*em vez de questões objetivas de múltipla escolha (como na etapa do Ipc), são exibidas questões discursivas ou temas para afunilar a pesquisa*”. E, como lembrou o aluno D na categoria 4, “*o professor pede que o aluno explique o que achou na pesquisa e faz suas ponderações sobre o assunto da pesquisa*”

A dinâmica utilizada nos encontros propiciou um ambiente descontraído e possibilitou um maior comprometimento e interação dos estudantes para desenvolver as atividades propostas, conforme descrito na categoria 2. Dessa forma, permitiu o desenvolvimento da dimensão socioemocional dos estudantes e proporcionou uma aprendizagem mais significativa. Esse resultado identificado em nosso trabalho corrobora os resultados apresentados por Fiasca (2018), no qual trabalhou tópicos de física moderna com alunos do 1.º ano do EM, concluindo que as aulas de relatividade restrita desenvolvidas com metodologias ativas, entre as quais a instrução por

colegas, foram interativas e colaborativas, além de contribuir “positivamente para um aprendizado significativo, transformador e estimulante da aprendizagem” (Fiasca, 2018).

A sequência didática utilizada contribuiu para que os alunos discutissem e reconhecessem a importância de temas contemporâneos de Física como os buracos negros “termo popularizado por John Wheeler nos anos de 1950” (Neves, 2017); microscopia eletrônica e sua importância para o avanço da ciência e, discussões sobre a simultaneidade do espaço-tempo na relatividade restrita.

Na sequência didática apresentada neste artigo, “[...] as respostas erradas também são comentadas explicando os motivos” (ALUNO E- categoria 5). Inferimos, portanto, que a maneira de avaliar os alunos utilizando nossa sequência didática converge com as etapas do Ipc proposto por Mazur (2015) no qual as concepções prévias dos estudantes são reconhecidas.

Alguns obstáculos para ensinar física moderna foram levantados na categoria 1 pelos alunos: como a falta de tempo e a recepção acrítica dos conteúdos de física moderna a serem ensinados (quando são ensinados).

Concluimos ainda que nossa sequência didática, especialmente com a inserção de questões discursivas, pode ser um caminho para propiciar a autonomia do discente, levando-o a se posicionar e tomar decisões perante uma situação apresentada. Destarte, entendemos que a participação em cursos de formação continuada de professores seja um caminho para que o docente conheça não apenas novas metodologias, mas que se aprofunde em temas atuais da física.

REFERÊNCIAS

- ALGEU, P. A. (2018). **Física Moderna e Contemporânea no planejamento de professores de Física De Escolas Públicas do Estado do Paraná**. Tocantins, 2018. 198 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal de Tocantins.
- ALMENARA, D. F. et al. (2019) **Promovendo a análise das contribuições de grandes cientistas da Física Moderna utilizando metodologias ativas e recursos tecnológicos**. In: *XIII Semana da Física*, 04 a 08 de novembro Ji-Paraná. Disponível em <<http://www.semanadafisica.unir.br/images/trabalhos/daniela2.pdf>>. Acesso em 02/06/2020
- ARAUJO, A. V. R.; SILVA, E. S., DE JESUS, V. L. B.; DE OLIVEIRA, A. L. (2017). **Uma associação do método Peer Instruction com circuitos elétricos em contextos de aprendizagem ativa**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 39, n. 2.
- BARDIN, L. (1977). **Análise de Conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 231p.
- BERBEL, N. (2011). **As metodologias ativas e a promoção da autonomia de estudantes**. *Semina: Ciências Sociais e Humanas*, Londrina, 32 (1), p. 25-40.
- CARVALHO, A.(org.) (2013). **Ensino de ciências por investigação- condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning. 164p.
- BONJORNO, J. R.; RAMOS, C. M.; PRADO, E. P.; BONJORNO, V.; BONJORNO, M. A.; CASEMIRO, R.; BONJORNO, R. F. S. A. (2016) **Física: Eletromagnetismo e Física Moderna**. São Paulo: FTD.
- BRASIL. (1996) **Lei n. 9.394**, Ministério da Educação e Cultura - Secretaria de Educação Básica.
- BRASIL, (2000) **Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio**. Ministério da Educação e Cultura - Secretaria de Educação Básica.
- BRASIL, (2002) **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio**, Ministério da Educação e Cultura - Secretaria de Educação Básica.
- BUTCHART, S.; HANDFIELD, T.; RESTALL, G. (2009). **Using Peer Instruction to Teach Philosophy, Logic, and Critical Thinking**. *Teaching Philosophy*, 32 (1), p. 1–40.
- BISCUOLA, G. J.; BÔAS, N. V.; DOCA, R. H. (2010) **Física: Manual do Professor**. 1º Ed. São Paulo, Saraiva, v. 3.
- CAVALCANTI, C. J. H.; OSTERMANN, F. (1999) **Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: Elaboração de Material didático, em forma de pôster, sobre partículas elementares e interações fundamentais**. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 16, n. 3: p. 267-286.
- COLOMBO, A. A.; BERBEL, N. A. N. A (2007) **Metodologia da Problematização com o Arco de Maguerez e**

- sua relação com os saberes de professores.** *Semana: Ciências Sociais e Humanas*. v. 28, n. 2, p. 121-146.
- CÓRDOVA, R. S. et al. (1992) **Simulación computacional de experiencias de física moderna.** *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 9, n. 2, p. 147–151.
- DA LUZ, A. M. R.; ÁLVAREZ, B. A. (2011) **Curso de Física.** 1^o Ed. São Paulo, Scipione, v. 3.
- DELAMUTA, B.H. et.al. (2018) **Mapas conceituais e perspectivas formativas de professores de química.** *Revista Valore*, Volta Redonda, v.3 (Edição Especial): p. 415-428.
- DOMINGUINI, L. (2002) **Física Moderna no Ensino Médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM.** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 34, n. 2.
- EINSTEIN, A., INFELD, L. (2008) **A evolução da física. De Newton até a teoria dos quanta.** Coleção vida e cultura, livros do Brasil Lisboa, 245 p.
- FERREIRA, E. D.; MOREIRA, F. K. (2017) **Metodologias Ativas de Aprendizagem no Ensino Médio: Relatos de Experiências no Uso do Peer Instruction.** In: *XVII Colóquio Internacional de Gestão Universitária*, Anais. Mar Del Plata.
- FIASCA, A. B. A. (2018) **Aplicando Metodologias Ativas e Explorando Tecnologias Móveis em Aulas de Relatividade Restrita no Ensino Médio,** 2018. 173 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé-RJ.
- FREIRE Jr, O. (2011) **Novo Tempo, Novo Espaço, Novo Espaço- Tempo: Breve história da relatividade.** In: ROCHA, J.F (org). *Origens e Evolução das ideias da Física.* Salvador, BA EDUFBA, cap. 4, p.284-297.
- FREIRE, P. (1996) *Pedagogia da autonomia.* 25^a ed. Paz e Terra. Disponível em: <<https://groups.google.com/forum/#!topic/computacao-iftm4/46Y11xCQZrw>>. Acesso em 22/05/2020.
- FREIRE, P. (2010) **Pedagogia do oprimido.** 49^a ed. São Paulo: Paz e Terra.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. (2009) **Fundamentos de Física: Óptica e Física Moderna.** 8. ed. Rio de Janeiro, LTC, v. 4.
- HYGINO, C.B; MARCELINO; V.S; LINHARES, M.P. (2015) **Formação Inicial de Professores de Física: Planejamento de Aulas Inovadoras.** *Rencima*, v. 6, n. 2, p. 1-19.
- JARDIM, W. T.; GUERRA, A.; CHRISPINO, A. (2011) **Revisão de bibliografia: Física Moderna e sua relevância no Ensino Médio.** In: *Simpósio Nacional de Ensino de Física*, 18, Manaus.
- JUNIOR, F.R; FERRARO, N.R; SOARES, P.A. (2007) **Os fundamentos da física,** v.3, 9^a ed., 520 p.
- KANTOR, C. A.; JÚNIOR, L. A. P.; MENEZES, L. C.; BONETTI, M. C.; ALVES, V. M. (2010) *Coleção Quanta Física: Manual do Professor 3^o ano.* São Paulo, PD.
- LAGE, M. J.; PLATT, G. J.; TREGLIA, M. (2000) **Inverting the classroom: A gateway to creating an inclusive learning environment.** *The Journal of Economic Education*, v. 31, p. 30-43.
- LOCH, J. (2011) **Física Moderna e Contemporânea no planejamento de professores de Física De Escolas Públicas do Estado do Paraná.** Curitiba. 119 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal do Paraná.
- LUCKESI, C. (2011) **Avaliação da Aprendizagem Escolar: Estudos e Proposições.** São Paulo, Cortez. Disponível em <<https://books.google.com/>>. Acesso em 24/05/2020.
- MARCELINO, V. S.; LINHARES, M. P.; OLIVEIRA, F. J. L. (2013) **O ensino de química praticado em escolas estaduais de um município do estado do Rio de Janeiro/Brasil pela ótica de seus professores.** In: *IX Congresso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias.*
- MARTINS, L. (2010) **Do wiggismo ao priggismo.** *Boletim de História e Filosofia da Biologia* 4 (4): 2-4. Versão on-line disponível em: <<http://www.abfhib.org/Boletim/Boletim-HFB-04-n4-Dez-2010.htm>>, Acesso em 04/06/2020.
- MAYR, E. (1990) **When is historiography whiggish?** *Journal of the History of Ideas*, v.51, n.2, p. 301- 309.
- MAZUR, E. (2015) **Peer Instruction: a revolução da aprendizagem ativa.** Porto Alegre: Penso.
- MONTEIRO, M. M.; MARCELINO, V. S. (2018) **O uso da metodologia da problematização com o Arco de Maguerez para o ensino de química.** *Revista de Educação, Ciências e Matemática*. v. 8, n. 3.

MONTEIRO, M.; NARDI, R.; BASTOS FILHO, J. (2012) **Física Moderna e Contemporânea no ensino médio e a formação de professores: desencontros com a ação comunicativa e a ação dialógica emancipatória.** *Revista Electrónica De Investigación Educación Ciencias*, v.8, n.1.

MORAN, J. (2013) **Mudando a educação com metodologias ativas.** Disponível em: http://www2.eca.usp.br/moran/wp-content/uploads/2013/12/mudando_moran.pdf. Acesso em 10/03/2021.

MOREIRA, M. A.; (2018) **Uma análise crítica do ensino.** *Estudos Avançados*, v.32, n.94.

NATÁRIO, J. (2015) **O GPS e a Teoria da Relatividade.** Lisboa.

NETO, J. G. P.; DE OLIVEIRA, A. N.; SIQUEIRA, M. C. A. (2019) **Ensino de Física moderna e contemporânea no Ensino Médio: o que pensam os envolvidos?** *ScientiaTec: Revista de Educação, Ciência e Tecnologia do IFRS*, Rio Grande do Sul, v.6, n.1, 1, p: 65-89.

NEVES, J. (2017) **Relatividade bem comportada: buracos negros regulares.** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 39, no 3, 2017.

NOVAK, G. M. et al. (1999) **Just-in-time teaching: blending active learning with web technology.** [S.l.] Prentice Hall, p. 188.

OLIVEIRA, F., VIANNA, D; GERBASS; R. (2007) **Física moderna no Ensino Médio: O que dizem os professores?** *Revista brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n.3, p. 447 – 454.

OLIVEIRA, T. E.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. (2016). **Sala de aula invertida (Flipped classroom): Inovando as aulas de física.** *A Física na Escola*. 14 (2), pg. 4-13.

OLIVEIRA, V.; ARAÚJO, I.; VEIT, E. (2017) **Resolução de problemas abertos no ensino de física: uma revisão de literatura.** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.39, n.3.

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*, v.5, n.1.

PAIS, L. C. (2011) **Transposição didática.** Disponível em: <<https://www.recantodasletras.com.br/artigos-de-educacao/5520590>>. Acesso em 27 julho. 2019.

PARANHOS, M. C. R. et al. (2017) **Metodologias ativas aplicadas no ensino de Física: Uma análise Comparativa.** *Revista UNILUS Ensino e Pesquisa*, v. 14, n, 36, p. 124.

PAULA, J.; FIGUEIREDO, N.; FERRAZ, D. P. A. (2020) **Peer Instruction e Vygotsky: uma aproximação a partir de uma disciplina de astronomia no ensino superior.** *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. v. 37, n. 1, p. 127-145.

PORLÁN, R.; RIVERO, A. (1998) **El conocimiento de los profesores.** Servilha: Díada, 213p.

SÁ, L. P., E. QUEIROZ, S. L. (2009) **Estudo de Casos no Ensino de Química.** Campinas: Editora Átomo, 95p.

SAMPIERI, R., COLLADO; C.; LÚCIO, M. (2013) **Metodologia de Pesquisa.** 5ª ed. Penso Editora, São Paulo, 624p.

SANTANA, F. B.; SANTOS, P. J. S. (2017) **Espectroscopia e modelos atômicos: uma proposta para a discussão de conceitos de Física Moderna no ensino médio.** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 34, n. 2, p. 555-589.

SANTI, N. S. M.; SANTARELLI, R. (2019) **Desvendando a radiação Hawking.** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 41, no 3, p. e20180312.

SHITSURA et al. (2017) **Metodologias ativas: um estudo de caso do fenômeno aprender.** *Educação & Linguagem*. v. 20, p. 143.

SOARES, P. A. T.; FERRARO, N. G.; JUNIOR, F. R. (2007) **Fundamentos da Física 3: Eletricidade, Introdução à Física Moderna e Análise Dimensional.** São Paulo: Moderna.

VALADARES, E. C. (1992) **Introdução aos microscópios Eletrônicos de Varredura e Tunelamento.** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 14, n. 2

VIDEIRA, A. A. (2005) **Einstein e o Eclipse de 1919.** *Física na Escola*, v. 6, n. 1.

VYGOTSKY, L. S. (1991) **A formação social da mente.** São Paulo: Martins Fontes.