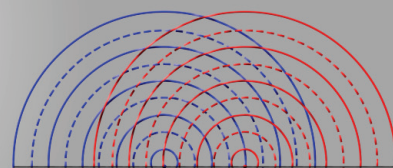
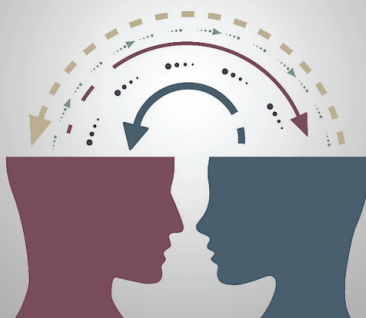
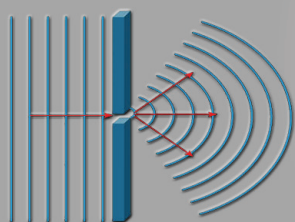


Abordando os fenômenos de difração e interferência de ondas com o método da instrução pelos colegas (*Peer Instruction*)



.....
Wagner Tadeu Jardim

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, Campus Juiz de Fora, MG, Brasil
E-mail: wagner.jardim@ifsudestemg.edu.br

Mary Anne Marques da Silva

Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, RJ, Brasil
E-mail: biomaryannemarques@gmail.com

Marina Valentin Barros

Colégio Santo Antônio, MG, Brasil
E-mail: marinote@gmail.com
.....

Introdução

De maneira geral, existe ampla discussão em âmbito nacional e internacional sobre a utilização de metodologias de ensino que possibilitem uma modificação na dinâmica de sala de aula. As metodologias ativas de aprendizagem utilizadas em classe têm na sua essência o deslocamento do papel do professor, que em vez de ser o protagonista na sala de aula passa a ser um mediador, permitindo assim uma participação ativa dos estudantes. No Brasil, muito esforço tem sido empregado nesse sentido e, nesse panorama, uma metodologia tem ganhado espaço nos últimos anos, a da *Peer Instruction* (Instrução pelos Colegas - IpC) [1,2,3]. A IpC foi desenvolvida em Harvard na década de 1990, tendo como seu idealizador o físico Erik Mazur. Essa metodologia prioriza a interação entre os estudantes em contrapartida ao formato tradicional de sala de aula, a partir da introdução de questões conceituais previamente escolhidas e elaboradas pelo professor. As questões guiam o desenvolvimento da aula a partir do direcionamento do professor. O principal objetivo da IpC é promover a compreensão de conceitos fundamentais de um tema por meio de uma dinâmica de interação entre os estudantes, alocando os alunos em um papel ativo na prática de ensino promovida em sala de aula [1,2].

No presente trabalho buscamos descrever os principais aspectos da metodologia IpC, exemplificados por uma sequência didática que foi construída por um professor de física que desconhecia a metodologia e a utilizou pela primeira vez em sala de aula. A proposta desenvolveu-se em quatro etapas principais: a primeira

contou com o estudo teórico das referências nacionais sobre a metodologia de ensino contida neste artigo e com discussões sistemáticas com outra professora, de biologia, também inexperiente em relação à metodologia IpC. O objetivo foi identificar as principais características da metodologia e propiciar maior clareza na construção da sequência didática e no processo de aplicação da mesma. A segunda etapa, de construção da sequência didática, foi orientada por uma professora pesquisadora que atua especificamente com o tema, sendo que a comunicação realizada via e-mail e videoconferência balizou as conexões entre os aspectos teóricos da IpC e o material trabalhado em sala de aula. A etapa seguinte consistiu na aplicação da sequência didática que visa discutir os conceitos de difração e interferência de ondas, em quatro turmas do 3º ano do Ensino Médio de uma escola pública federal, tendo cada turma um total de estudantes que variava entre 24 e 28. A aplicação preencheu o espaço de duas

aulas sequenciais de 50 minutos cada uma. A quarta e última etapa do trabalho voltou-se para a análise dos resultados obtidos durante a aula desenvolvida, passo essencial para uma avaliação da proposta.

Antes de discutirmos a experiência didática, apresentaremos aspectos da IpC que sumarizam o estudo teórico desenvolvido na primeira etapa da presente proposta e que foi a base para a prática desenvolvida.

O método de Instrução pelos Colegas (IpC) – *Peer Instruction*

Em uma aula dita tradicional, espera-se que o professor utilize o tempo disponível para transmitir detalhadamente informações específicas sobre o

metodologias ativas de aprendizagem utilizadas em classe têm na sua essência o deslocamento do papel do professor, que em vez de ser o protagonista na sala de aula passa a ser um mediador, permitindo assim uma participação ativa dos estudantes

Este artigo apresenta uma proposta de ensino dos conceitos de difração e interferência de ondas baseada na metodologia da Instrução pelos Colegas (IpC) (*Peer Instruction*). Essa metodologia pressupõe a alteração da dinâmica da sala de aula, priorizando a interação entre os estudantes e modificando o papel do professor. Após apresentarmos os principais aspectos da IpC, estes serão discutidos dentro do contexto de uma sequência didática desenvolvida e aplicada por um professor, até então, desconhecedor dessa metodologia. A aula teve como público-alvo quatro turmas do terceiro ano do Ensino Médio de uma escola pública federal. A proposta mostrou-se satisfatória, pois além do aumento no índice de respostas corretas em questões sobre interferência e difração de ondas, houve boa receptividade dos estudantes em relação à nova dinâmica que tomou o espaço da sala de aula.

conteúdo ministrado, para que os estudantes, em momento posterior, estejam aptos a responder questões sobre o tema. A IpC reorienta essa estrutura criando um espaço onde o professor ministra apresentações orais menores (aproximadamente 15 minutos cada), que têm por foco os conceitos principais e são intercaladas com questões que serão respondidas, cada uma delas, em até duas etapas [1,2, 4].

Ao se apresentar uma questão aos estudantes, estes são convidados a refletir brevemente (cerca de 2 minutos), individualmente, sobre as opções de resposta, escolhendo a que consideram correta. É importante que nesse momento não ocorra nenhuma interação entre os estudantes. Após o tempo designado a essa primeira etapa, os alunos são convidados à votação, apresentando suas respostas individuais. Nesse momento, o professor deve avaliar (e registrar) as respostas para definir o passo seguinte [1,4].

Existem alguns recursos tecnológicos possíveis para a escolha das respostas por parte dos estudantes. Dentre esses, destacamos os *clickers*, que são dispositivos eletrônicos usados pelos estudantes para responder aos testes propostos nas aulas. Esses aparelhos (semelhantes a controles remotos) são fornecidos individualmente para os estudantes, permitindo a inserção de suas respostas para os testes conceituais. As respostas são enviadas para o computador do professor, que poderá visualizá-las prontamente. Há também aplicativos de *smartphones*¹ que funcionam de maneira semelhante aos *clickers* e cartões de resposta (chamados de *flash-cards*), em que estão desenhadas as opções de respostas com cores diferenciadas. É importante que a escolha das alternativas pelos estudantes seja feita por meio desses métodos (cartão de resposta, *clickers* ou aplicativos de *smarthphones*) e não oralmente ou por uma votação em que os alunos levantem as mãos, para que não ocorra interferência entre as respostas dos colegas. Em uma pesquisa [5] desenvolvida em uma escola pública canadense em que foram usados cartões de resposta e *clickers* para medir as respostas dos estudantes, identificou-se que não há diferença em termos de aprendizagem dos alunos quanto ao uso desses dois instrumentos, e sim diferenças para o professor, já que a tabulação das respostas é imediata no caso dos dispositivos eletrônicos.

É importante ressaltar que a avaliação das respostas se mostra essencial para analisar como o processo terá continuidade. Caso as respostas sejam muito homogêneas (mais de 70% dos estudantes com opções erradas ou corretas), a pró-

xima etapa que será descrita, de interação entre os estudantes, pode perder o sentido. Se as respostas individuais dos alunos apresentarem, em sua grande maioria, a opção correta, um debate não suscitará controvérsias, sendo uma explicação por parte do professor para toda a classe um melhor condutor para o tópico seguinte e o tempo que seria destinado para o processo de interação pode ser mais bem aproveitado em outros momentos da aula. Caso o panorama de respostas individuais aponte para um baixo percentual de respostas corretas (menor do que 30% de respostas corretas), isso pode ser resultado de uma questão mal formulada ou uma explicação prévia inadequada por parte do professor. Nesse caso, suscitar uma interação entre os estudantes pode acarretar maior confusão dos conceitos. Assim, o professor deve revisar o conceito apresentado e repetir a etapa 1. O ideal para uma boa interação entre os estudantes e sucesso da metodologia é que o número de respostas corretas se situe entre 30% e 70%, como sintetizado na Fig. 1.

Após a votação 1, caso os critérios da porcentagem de respostas corretas direcionem para a discussão entre os colegas, o que constitui a segunda etapa, os estudantes devem formar pequenos grupos, de 2 a 5 alunos, nos quais cada um deve apresentar suas respostas com base em seus argumentos. O objetivo é que os estudantes possam reavaliar suas opções contrapondo seus próprios argumentos aos de seus colegas. Dessa maneira, é impor-

tante que os grupos sejam formados de forma heterogênea, ou seja, que cada grupo comporte a maior variedade de opções de resposta possíveis resultantes da votação 1, no intuito de enriquecer o debate [1,4]. Caso todos os alunos no mesmo

grupo apresentem a mesma resposta, é importante que o professor os ensine a discutir todas as alternativas e a encontrar os motivos por que as julgaram erradas, enriquecendo assim a capacidade argumentativa dos alunos e

aprofundando a compreensão do conceito em discussão.

Outro aspecto essencial a se destacar é que para propiciar a interação entre os colegas, as questões devem ser formuladas previamente ou selecionadas dentre as presentes em livros-texto ou exames já existentes,² porém sempre levando em consideração alguns aspectos cruciais para os objetivos da IpC. As questões devem ser conceituais, não óbvias para os estudantes, claras e concisas, abordarem um conceito por vez (por questão) e motivarem discussões entre os alunos. Devem ser pensadas de maneira que contemplem a compreensão sobre os conceitos mais importantes apresentados oralmente pelo professor. Os testes devem conter perguntas que não podem ser resolvidas com base em uma equação matemática, pois o foco deve ser na aprendizagem conceitual, e não podem ser de fácil solução, o que implicaria um grande índice de acertos e suprimiria a etapa de interação entre os colegas. Além disso, os testes devem promover discussões entre os estudantes,

Clickers, dispositivos eletrônicos semelhantes a controles remotos, podem ser usados pelos estudantes para responder a testes propostos nas aulas. Esses aparelhos são fornecidos individualmente para os estudantes, permitindo a inserção de suas respostas

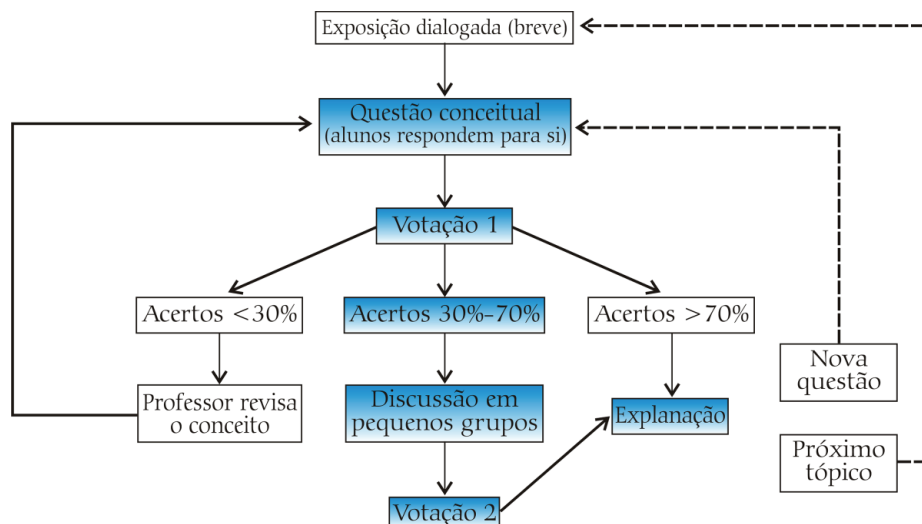


Figura 1: Diagrama do processo de implementação do método IpC [1, p. 370].

visando um melhor entendimento sobre os conteúdos. O professor precisa ser bem criterioso ao preparar sua aula, em que utilizará o IpC, decidindo previamente quais serão os conceitos discutidos naquela aula e quais habilidades ele pretende desenvolver. A ordem em que ele apresentará os testes deve ser decidida em momento anterior à aula e outro cuidado a ser tomado é o de selecionar mais de um teste por tópico do conteúdo ou habilidade que se pretende trabalhar. Dessa maneira, as questões apresentadas no presente trabalho seguem essas recomendações e são de formulação própria ou adaptações de testes encontrados na internet ou em livros didáticos.

Difração e interferência de ondas, uma interação entre ondas e entre colegas: construção e aplicação da metodologia IpC

O professor responsável por construir a aula, como indicado na introdução, nunca havia pesquisado sobre ou trabalhado com a metodologia IpC em momentos anteriores. A partir da construção da proposta, o professor responsável por reger a aula e outra professora que também não possuía experiência prévia com a IpC acessaram e discutiram conteúdos acadêmicos, disponíveis em periódicos e anais de congresso, ambos nacionais e de livre acesso, que discutem a metodologia IpC e/ou apresentam exemplos de sua aplicação [1,2,4,6,7]. Materiais como os mencionados, além de contato via email e videoconferência com a professora-pesquisadora durante o processo de construção e aplicação que será descrito, constituíram a estrutura para que a dinâmica da sequência didática e os objetivos da metodologia não fossem distorcidos no trabalho prático.

Em uma aula anterior ao desenvolvimento da sequência didática, o professor propôs uma atividade prévia (AP),³ na qual os alunos utilizaram uma simulação (Fig. 2) para observar fenômenos ondulatórios em diversas situações. Essas

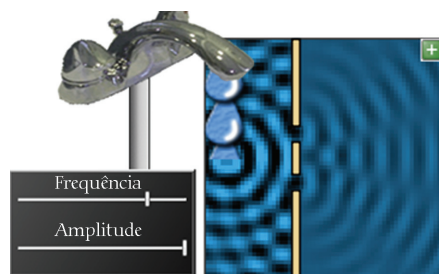


Figura 2: Simulação de ondas na água para observação de difração e interferência (<http://phet.colorado.edu/pt>).

observações deveriam ser realizadas na escola ou em casa, fora do espaço da sala de aula e entregues ao professor (via-email ou arquivo físico). Para garantir que todos os estudantes (ou pelo menos a maioria deles) realizassem as observações, foi atribuída uma pequena pontuação dentro das avaliações bimestrais correntes. No caso da turma que terá seus resultados descritos ao longo do texto, 24 dos 25 estudantes entregaram a AP.

A simulação utilizada consiste em uma torneira que libera gotas de água periodicamente em um tanque com água. O estudante tem a liberdade de aumentar ou diminuir a frequência e amplitude das ondas, bem como afastar ou aproximar da fonte geradora de ondas, uma barreira que pode conter um ou dois orifícios. Nesse momento do ano letivo, os estudantes já tinham discutido em sala as características básicas de uma onda, tais como amplitude, frequência, comprimento de onda e velocidade, além de já conhecerem fenômenos básicos como refração e reflexão.

Na AP, foi requisitado aos alunos que respondessem as seguintes questões: 1 “Ajuste a largura da fenda para um tamanho bem pequeno, aumente a frequência para valores grandes e aproxime a fenda da fonte geradora de ondas. Nessas condições, o que você observa quando a onda atravessa a fenda? Descreva.”. 2 “Se aumentarmos a largura da fenda, algo se modifica? Descreva.”. 3 “Existe algum limite de tamanho para o qual, se aumentarmos a largura da fenda, o fenômeno é interrompido? Descubra e descreva as observações.”. 4 “Quando o fenômeno é interrompido, o que acontece com a onda que passa pela fenda? Descreva.”. 5 “Estruture novamente a situação descrita no item (1), acrescente uma segunda fenda. O que você observa? Descreva.”. 6 “Na situação do item 5, se variarmos a largura das fendas, algo se modifica? Descreva.”

Foi orientado aos alunos que todos os casos deveriam ser observados e suas análises anotadas, tais como a observação de algum efeito que surgisse ou cessasse em determinadas condições que deveriam ser explicitadas de maneira qualitativa. O professor enfatizou, ainda, que seria atribuída pontuação às respostas, todavia a correção da atividade não seria voltada para uma análise de “certos” ou “errados”, mas sim levaria em consideração o esforço empregado na descrição das análises rea-

lizadas, como indicado pelo referencial teórico [1].

O objetivo dessa atividade foi familiarizar os estudantes com os fenômenos e imagens que seriam discutidos na aula presencial, o que foi percebido, por exemplo, devido aos vários relatos de “espalhamento” (algo semelhante ao que seria o fenômeno de difração) encontrado nas descrições dos estudantes, em determinadas alterações de parâmetros, como na questão 1 da AP. Dessa maneira, buscamos estimular a elaboração de argumentação sobre o tema, por parte dos alunos.

Para início da aula presencial, foram distribuídos, para cada estudante, os *flashcards* (cartões) com as letras A, B, C e D, sendo que cada *flashcard*, além de possuir uma letra diferente, também foi confeccionado com uma cor diferente, amarela, azul, rosa e verde, respectivamente. Cada letra foi impressa em papel de sua respectiva cor e, na parte de trás de todos eles, foi colado

A Atividade Prévia cumpre um papel de “exercício de aquecimento”, ou seja, de familiarizar os estudantes com os temas que serão trabalhados posteriormente e auxiliar no processo de construção da aula

um papel cartão no intuito de que os alunos das linhas de trás não conseguissem identificar as respostas dos colegas da frente, minimizando possíveis “colas” de respostas. Cada etapa de votação foi registrada por meio de fotografias, o que justifica a escolha de diferentes cores para cada letra dos *flashcards*, para facilitar a identificação das respostas que serão apresentadas ao final da presente seção.

Optamos pelo uso dos *flashcards* (Fig. 3) em vez dos *clickers* ou aplicativos de *smartphones* pelo fato de não possuímos disponíveis os *clickers* e nem todos os estudantes possuem *smartphones* que pudessem baixar os aplicativos necessários para a dinâmica dos *clickers*. Além disso, uma vez confeccionados os *flashcards*, os mesmos podem ser utilizados em qualquer contexto. No entanto, vale ressaltar que uma alternativa interessante aos *flashcards* é a utilização do *Plickers*, por meio dos quais somente o professor necessita possuir o aplicativo (*plickers*, disponível gratuitamente na internet) em seu *smartphone* e as cartelas impressas, utilizadas pelos estudantes, contêm códigos que são identificados pela câmera do aparelho. Dessa maneira, o *Plickers* alia a vantagem dos *flashcards*, que é o baixo custo, e a vantagem da identificação e apresentação das respostas dos *clickers* [7].⁴

Antes de iniciar a discussão específica sobre os conteúdos de ondulatória, fez-se importante explicitar claramente para os



Figura 3: Estudantes utilizando os *flashcards* para responder a uma das questões sobre difração e interferência.

alunos como se daria o processo de votação. É indispensável que todos os estudantes compreendam as etapas de votação para que os objetivos da sequência didática não sejam comprometidos. Assim, iniciamos a aula com uma pergunta teste (pergunta 0) sobre qual seria o time de futebol de cada aluno, com o objetivo de verificar a dinâmica das votações. Foram apresentadas quatro opções: Cruzeiro (A), Atlético (B), Flamengo (C) e Outros (D). Após a primeira votação, os estudantes tiveram dois minutos para discutir suas respostas em pequenos grupos (de 3 e 4 alunos) e, em seguida, foi realizada uma nova votação em que as respostas permaneceram as mesmas. Apesar da não alteração nas respostas (como já era esperado para esse caso), a pergunta teste serviu bem ao propósito de ser um momento de descontração em que os alunos pudessem interagir entre si, apresentar argumentos em favor de suas respostas e compreender a dinâmica que guiará a aula.

Depois de compreendida a dinâmica de votação das duas etapas destacadas na seção anterior, que constituem a instrução pelos colegas, a votação individual inicial

e a votação individual posterior à discussão em pequenos grupos, o professor iniciou a discussão sobre os conteúdos específicos da sequência. A primeira das pequenas apresentações por parte do professor versou sobre a frente de onda e o princípio de Huygens para a propagação de uma onda. Além disso, foram apresentadas imagens que representavam o princípio de Huygens em uma onda circular bidimensional ao passar por um obstáculo (Fig. 4).

Apesar de o exemplo tratar de uma onda circular, não foram discutidos, nesse momento, variações no tipo de onda ou obstáculo, apenas o princípio de Huygens e que o fenômeno de uma onda contornar um obstáculo era chamado de difração. Relembrando, as apresentações ministradas pelo professor devem conter informações que permitam a formulação de ideias pelos estudantes sobre as questões subsequentes, porém sem detalhar o fenômeno de maneira a antecipar por completo as respostas.

Em seguida, apresentamos as questões 1 e 2:

Questão 1: A difração ocorre quando a luz passa por:

Ao se trabalhar com a IpC pela primeira vez, é importante discutir detalhadamente, com os estudantes, como se dão as etapas de votação para que a dinâmica da aula não seja prejudicada

- A) buraco pequeno.
- B) fenda estreita.
- C) fenda larga.
- D) Em todos os casos.

Nesse momento, como houve um grande número de respostas corretas (88% de acerto),⁵ não se fez necessária a segunda etapa (de interação entre os estudantes). O professor indicou a resposta correta (letra D), apresentou a questão número 2 e deixou para discutir ambas (questões 1 e 2) em conjunto.

Questão 2: No fenômeno da difração existe alteração:

- A) no comprimento de onda
- B) na frequência
- C) na forma
- D) na velocidade de propagação

A questão 2 apresentou, após a primeira votação, 32% de respostas corretas (letra C), o que foi modificado para 68% após a interação entre os estudantes. Após esse momento seguimos para uma discussão sobre a difração relacionada às questões que acabaram de ser discutidas. Então apresentamos imagens que representam ondas contornando diferentes obstáculos, como o da Fig. 5, em que uma onda atravessa um orifício circular. Para essa explicação, retomamos ainda a Fig. 4 e o princípio de Huygens, mas não discutimos a aparição do padrão de interferência.

Em seguida, no intuito de aprofundar a discussão sobre os efeitos de difração, passamos para as questões 3 e 4.

Questão 3: Sobre a figura a seguir (Fig. 6), podemos perceber que no primeiro caso, à esquerda, existe o efeito de difração; no segundo caso, apesar de termos ondas que passam por uma fenda, o efeito não é tão perceptível. O que melhor explicaria, diretamente, essas observações?

- A) A distância da fonte até a fenda.
- B) A largura da fenda.
- C) A frequência da onda.
- D) A velocidade da onda.

Questão 4: (UFRGS 2005 - Adaptada)

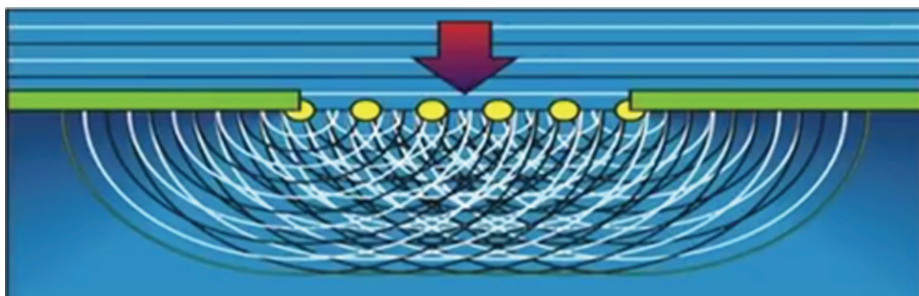


Figura 4: princípio de Huygens, disponível em www.wikimedia.org.

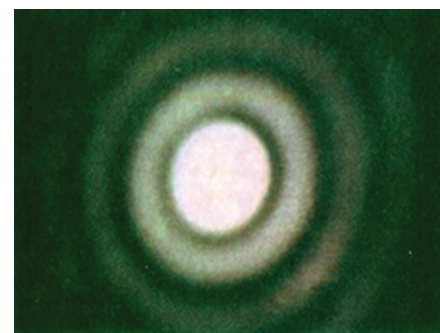


Figura 5: Onda (luminosa) contornando um orifício circular.

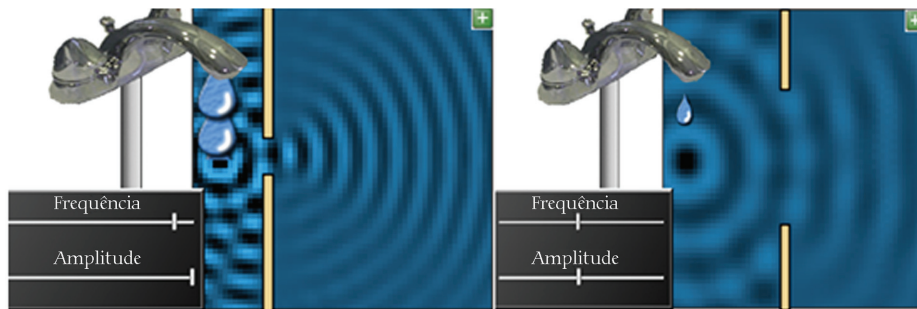


Figura 6: Imagem que compõe a questão 3, produzida utilizando o simulador do Phet.

Um trem de ondas planas de comprimento de onda λ , que se propaga para a direita em uma cuba com água, incide em um obstáculo que apresenta uma fenda de largura F . Ao passar pela fenda, o trem de ondas muda sua forma, como se vê na fotografia a seguir (Fig. 7). O fenômeno físico mostrado na figura é conhecido como difração. Para que esse fenômeno seja intensificado, poderíamos:

A) diminuir um pouco o tamanho do orifício.

B) diminuir a profundidade do recipiente.

C) aumentar a frequência da onda.

D) aumentar a velocidade da onda

A questão 3 apresentou na primeira votação 46% de respostas corretas (letra B), o que aumentou para 76% após a discussão pelos colegas. Na questão 4, o percentual de respostas corretas (letra A) aumentou de 62% para 92%. Após as votações para as questões 3 e 4, o professor discutiu com os estudantes que a ocorrência mais explícita do fenômeno de difração recai sobre a dependência do comprimento de onda em relação às dimensões do obstáculo a ser contornado. Nessa discussão foram apresentadas algumas imagens de difração de ondas na água extraídas do programa *Google Earth* [8]. Dessa maneira, iniciamos a discussão conceitual que lança as bases para se res-

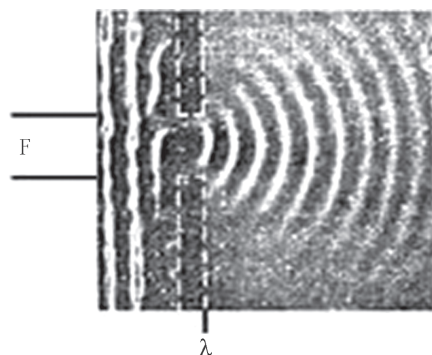


Figura 7: Imagem retirada do exame vestibular da UFRS 2005 e que compõe a questão 4 do presente trabalho.

ponder à questão 5 que viria a seguir. Ressaltamos que os estudantes tinham conhecimento, advindo de aulas anteriores, das diferenças entre ondas mecânicas e eletromagnéticas; no caso específico da questão seguinte, ondas sonoras e ondas luminosas.

Questão 5: (UFMG) O muro de uma casa separa Laila de sua gatinha. Laila ouve o miado da gata, embora não consiga enxergá-la. Nessa situação, Laila pode ouvir, mas não pode ver sua gata, porque

A) a onda sonora é uma onda longitudinal e a luz é uma onda transversal.

B) a velocidade da onda sonora é menor que a velocidade da luz.

C) a frequência da onda sonora é maior que a frequência da luz visível.

D) o comprimento de onda do som é maior que o comprimento de onda da luz visível.

Após as etapas de votação na questão 5, apesar de observarmos um aumento no índice de respostas corretas (letra D) de 32% para 52%, o resultado final não foi satisfatório (sendo menor que 70%). Então, destinamos maior tempo para retomar as diferenças entre ondas longitudinais e transversais, opção que recebeu grande número de votos, e reforçar as diferenças de frequência entre ondas sono-

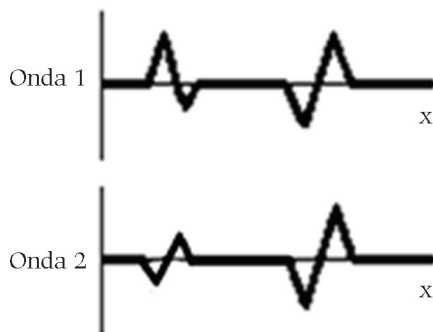


Figura 8: Representação gráfica de ondas se deslocando na água e suas superposições.

ras e luminosas.

Como ponto de partida para se discutir mais especificamente o fenômeno de interferência, optamos por uma questão que dispusesse de um conteúdo visual simples que representasse graficamente o efeito e permitisse introduzir o fenômeno. Seguimos então para a questão 6, que trabalharia com a grandeza “amplitude”, já conhecida pelos estudantes, agora no contexto da interferência de ondas.

Questão 6: Considere as ondas 1 e 2 se deslocando através da água ao mesmo tempo (Fig. 8). Qual das opções melhor representa a onda visualizada na água?

A questão 6, após a segunda etapa de votação, não necessitou um aprofundamento por parte do professor (já que o índice de acerto foi de 100%, letra C) pois, segundo os estudantes, o conceito de interferência a partir da análise gráfica disposta na própria questão permitiu um entendimento bem direto do processo de “soma de amplitudes”. Dessa maneira, foi possível seguir para a discussão presente na questão 7, ainda sobre interferência de ondas e “somadas de amplitudes”.

Questão 7: Dois pulsos idênticos de amplitude oposta viajam ao longo de uma corda esticada e interferem destrutivamente. Qual(is) das seguintes opções é/são verdadeira(s)?

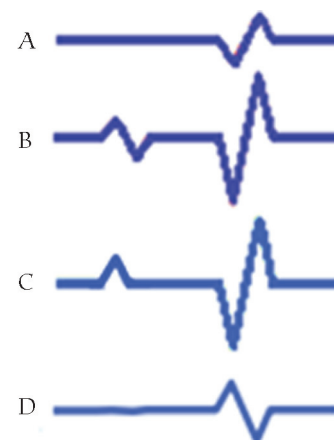
A. Há um instante em que a corda está completamente em linha reta.

B. Quando os dois impulsos interferem, a energia dos pulsos é momentaneamente zero.

C. Há um ponto na corda que não se move para cima ou para baixo.

D. Existem vários pontos da corda que não se movem para cima ou para baixo.

Após as rodadas de votação da questão 7, observamos uma mudança no índice de acerto (letras A e C)⁶ de 40% para



84%. Definimos de maneira mais rigorosa o fenômeno de interferência, retomando a oscilação de cada ponto material em uma onda mecânica e o conceito de transporte de energia e o não transporte de matéria presentes nas ondas. Nesse momento da aula, já haviam sido apresentados os conceitos de interferência e difração. Para um maior aprofundamento, apresentamos a questão 8, para discutir brevemente a propagação de luz em um laser, e a questão 9, que nos permitiu apresentar o experimento de Young e, em seguida, demonstrar as diferenças entre o experimento original e o que seria reproduzido em sala em uma perspectiva moderna [8].

Questão 8: Se o princípio Huygens-Fresnel se aplica a qualquer momento e em qualquer lugar no caminho de um feixe, por que um feixe de laser, sem qualquer fenda (Fig. 9), não se espalha em todas as direções?

A) Porque todas as ondas que se espalham interferem destrutivamente.

B) Ele se espalha, mas a propagação é tão pequena que se torna imperceptível.

C) Não se pode aplicar o princípio Huygens-Fresnel em qualquer situação, apenas em fendas e aberturas.

Questão 9: Com base nos efeitos estudados, os efeitos ondulatórios para a luz observados nas figuras a e b (Fig. 10), foram:

A) Na Fig. 10a não ocorreu difração nem interferência enquanto na Fig. 10b ocorreram ambos.

B) Na Fig. 10b ocorreu apenas a difração enquanto na Fig. 10a ocorreu a difração e a interferência.

C) Na Fig. 10, tanto na situação “a” quanto na “b” ocorreram difração e interferência.

Como podemos perceber, os fenômenos de difração e interferência foram sendo apresentados e aprofundados ao longo de cada teste trabalhado na aula, o que nos permitiu, após as rodadas de votação das questões 8 com índices de acerto (letra B) de 33% e 72% e 9 com índices de acerto

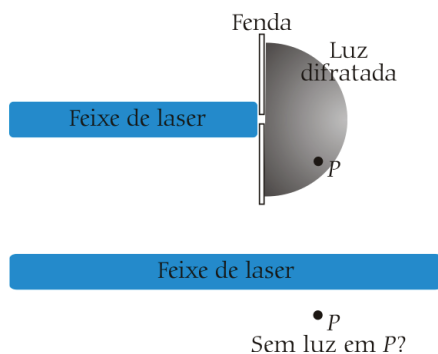


Figura 9: Propagação da luz de um laser.

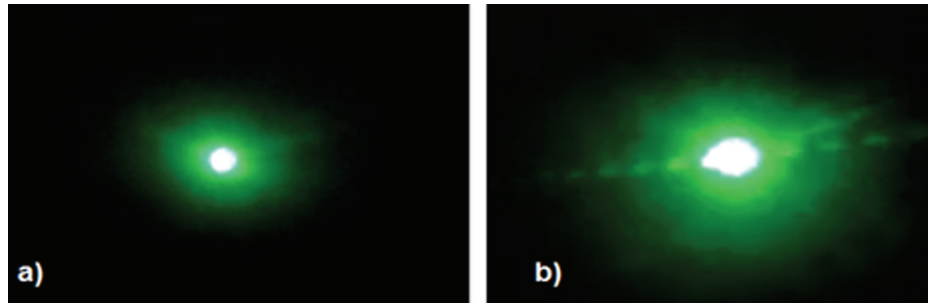


Figura 10: Figura que compõe a questão 9, projeção de um laser em um anteparo (a) e projeção de um laser após contornar um fio de cabelo.

(letra C) de 64% e 92%, contextualizamos e reproduzimos o experimento de Young em uma perspectiva moderna [8], no intuito de rediscutir e reforçar os conceitos trabalhados na sequência didática.

A seguir, apresentamos um gráfico (Fig. 11) que relaciona as duas etapas de votação de cada questão para a turma de 25 alunos cujos resultados foram apontados ao longo do texto. As colunas em vermelho representam o percentual de respostas corretas na primeira votação, que corresponde ao momento de reflexão individual, e as colunas em verde representam o percentual de respostas individuais após o processo de interação com colegas. Já na Fig. 12, o gráfico apresenta os resultados obtidos na turma 2, com 28 alunos. A questão 1 da primeira turma e as questões 1 e 4 da segunda turma não constam nos gráficos (Figs. 11 e 12) por apresentarem um percentual muito elevado de respostas corretas na primeira etapa de votação, dispensando a etapa de interação entre os colegas.

De maneira geral, como pode ser analisado nas Figs. 11 e 12, a proposta indicou resultados positivos, apresentando um aumento percentual médio de respostas corretas, entre a etapa inicial de votação e a etapa pós interação entre os estudantes, de 31% para a primeira turma e de aproximadamente 25% para a segunda turma. Outro resultado satisfatório mostrou-se de forma qualitativa, manifestado na boa recepção da metodologia IpC por parte dos estudantes, processo que os colocou em uma posição mais ativa durante a aula e foi bastante elogiado por parte dos alunos em relação à dinâmica desenvolvida no processo.

Comentários finais

Neste trabalho, buscamos apresentar a metodologia da Instrução pelos Colegas (*Peer Instruction*) dentro do contexto de uma aplicação real, de maneira que seus aspectos principais fossem colocados de maneira simples, todavia sem comprometer um entendimento adequado do pro-

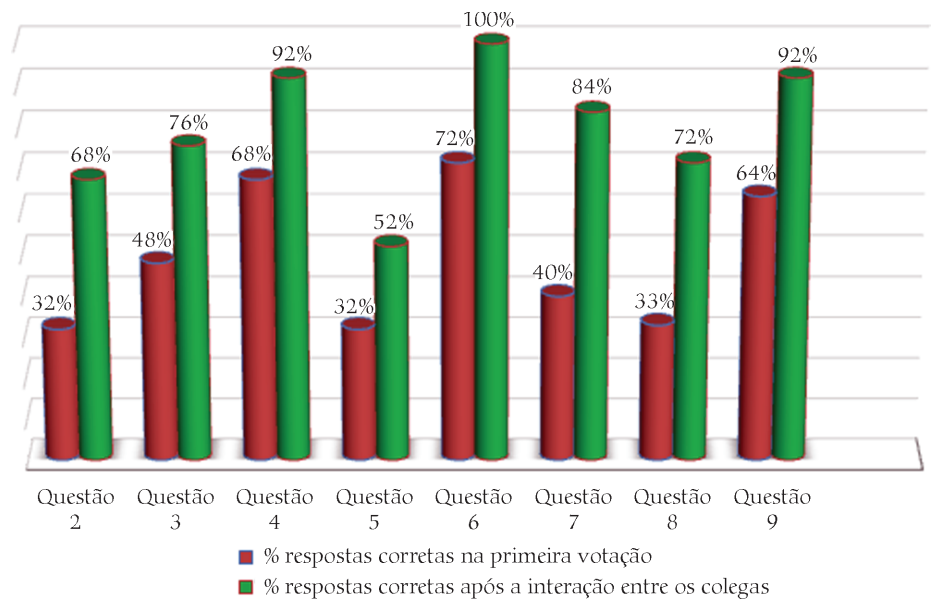


Figura 11: Gráfico com o percentual de respostas corretas em cada votação para a primeira turma, de 25 alunos.

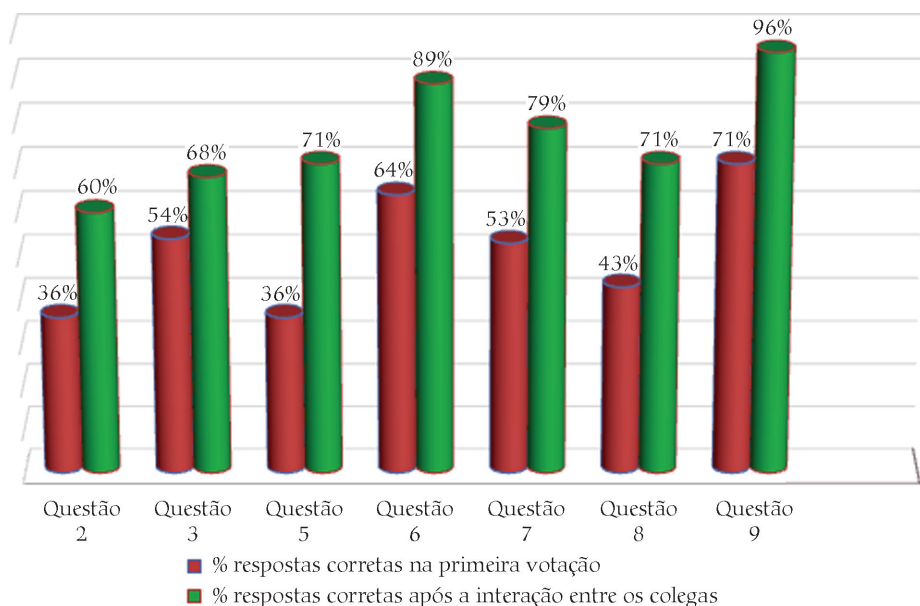


Figura 12: Gráfico com o percentual de respostas corretas em cada votação para a segunda turma, de 28 alunos.

cesso. A sequência didática de difração e interferência de ondas foi construída por um professor que teve seu primeiro contato com a metodologia nesse contexto, guiado por referências nacionais, de livre acesso, além de contar com discussões com outra professora, iniciante na metodologia IpC, e com a orientação de uma professora pesquisadora com experiência no tema. Ao longo do texto, apresentamos os dados de uma das quatro turmas, de 25 alunos, sumarizados no gráfico da Fig. 11, turma escolhida pelo fato de apenas uma das 9 questões ter sido dispensada do processo de interação entre os estudantes (Questão 1). O gráfico da Fig. 12 apresenta os dados da turma 2, composta de 28 alunos. Os resultados das turmas 3 e 4 não são apresentados devido a um problema da câmera do *smartphone* empregado na captura das imagens e que, em alguns casos, não permitiu uma identificação razoável das respostas a fim de serem aqui apresentadas de maneira precisa. Apesar de o método IpC considerar a análise de dados fundamental para uma compreensão do processo, nosso objetivo principal foi o de apresentar a viabilidade da metodologia a partir do contexto de uma aplicação real. Por outro lado, negligenciar uma apresentação desses dados, mesmo que de forma sucinta, implicaria negativamente no entendimento e na avaliação da proposta.

Como ressaltado por Araujo e Mazur [1], o aumento na interação dos estudantes com a aula e entre eles mesmos foi um aspecto bastante positivo. O professor não atuou apenas como um fornecedor de conhecimento, mas como um

facilitador do processo. Os *flashcards* mostraram-se eficientes para os objetivos iniciais, indicando que a impossibilidade de se adquirirem os *clickers* pôde ser contornada com a confecção de cartões de cartolina (*flashcards*). Vale ressaltar que ao utilizar os *flashcards* se deve estar atento em minimizar o efeito da “cola”, em que o aluno, ao perceber a resposta do colega, deixa de refletir sobre a questão proposta, copiando a resposta de outrem. Para isso, é necessário confeccionar cartões que não possam ser identificados pela parte de trás, como descritos no texto, além de buscar uma sincronia dos alunos no apresentar das respostas. Outra opção aos *clickers*, destacada no texto, é a do *Plickers*, que pode ser explorada pelo professor devido às diversas vantagens apresentadas [7].

Ainda como discutido por Araujo e Mazur [1], vale ressaltar que o simples fato de acrescentar um sistema de votação não implica na aplicação da metodologia da IpC. O planejamento prévio das aulas, considerando-se os aspectos apresentados acerca da metodologia IpC, são essenciais. As questões devem ser selecionadas e/ou elaboradas no intuito de suscitar discussões conceituais e sua ordem na sequência didática deve ser pensada. É importante que haja mais de uma questão com foco em cada conceito, uma vez que resultados insatisfatórios no momento da votação indicam a necessidade de se rediscutir e voltar mais atenção àquele conteúdo. Outro fator é que atribuir notas para respostas corretas, nas questões apresentadas em sala de aula, pode exercer impacto negativo, uma vez que os estudantes podem buscar caminhos alternativos para

alcançar os acertos, tais como tentativas de “cola” na primeira etapa de votação, ou apenas uma posição passiva de aceitar a resposta de um colega que, de maneira geral, apresente melhor desempenho na disciplina, após a discussão em grupo. É importante que o professor valorize mais o processo de interação entre os colegas, como está sendo executado, e a dedicação de cada aluno do que apenas o resultado final.

Outro aspecto ao qual devemos estar atentos é que as Atividades Prévias (AP) não devem ser tarefas que possam ser respondidas com uma simples busca na internet ou a memorização de algo. Nesse momento, por exemplo, disponibilizamos uma simulação e perguntas cujas respostas deveriam ser extraídas exclusivamente da interação direta com o *software*.

O presente trabalho constituiu uma proposta que pode ser reproduzida em outros contextos de sala de aula, mas, mais do que isso, teve o objetivo de mostrar os principais aspectos da metodologia IpC no intuito de instigar a criação de novos trabalhos, que podem ser adaptados e implementados sobre diferentes conteúdos e em distintas realidades.

Notas

¹Um exemplo de aplicativo que permite um sistema de votação compatível com o método da IpC e que pode ser baixado gratuitamente é o “Socrative”. Existem também os Plickers, que é um aplicativo que não demanda conexão wi-fi e identifica a porcentagem de respostas por meio do uso de cartões com símbolos. Esses, como outros recursos que estão sendo desenvolvidos e implementados, apresentam-se como facilitadores para a coleta e análise de dados, como no caso do PInApp [4].

²Existem bases de questões (em inglês), construídas pelo criador da IpC, Eric Mazur, e seus colaboradores especificamente para essa metodologia, disponíveis gratuitamente em <http://www.learningcatalytics.com>, www.deas.harvard.edu/galileo e www.flguide.org/tools/tools_technique.php.

³O que denominamos Atividade Prévia (AP) neste trabalho cumpriu o papel do que originalmente é referido por Erik Mazur e outros pesquisadores como Tarefa de Leitura (TL). Apesar de ambas cumprirem um papel de “exercício de aquecimento”, ou seja, de familiarizar os estudantes com os temas que serão trabalhados e auxiliar no processo de construção da aula, optamos por chamar de AP, uma vez que a atividade se baseou

na manipulação de uma simulação computacional em contrapartida aos materiais de leitura usualmente empregados.

⁴Os códigos correspondentes às letras A,B,C e D que devem estar presentes nas cartelas dos estudantes e que podem ser lidos pelo *smartphone* podem ser obtidos em https://plickers.com/PlickersCards_2up.pdf. Mais informações sobre sua utilização podem ser obtidas na referência [7].

⁵O número de respostas corretas apresentadas pelos estudantes, por questão e por opção, é apresentado no final desta seção.

⁶Foi explicitado que a resposta da questão 7 poderia conter mais de uma opção

correta. Logo, a resposta dada por um estudante que marcou somente a letra A

ou somente a letra C não foi considerada correta.

Referências

- [1] I. S. Araújo e E. Mazur, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **30**, 362 (2013).
- [2] M. Valentim, L. Zago, Y.P. Mascarenhas e M.A. Barros. in: *XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física*, Uberlândia, p. 1 (2015).
- [3] V. Oliveira, E.A. Veit e I.S. Araújo, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* **32**, 180 (2015).
- [4] M.G. Müller, I.S. Araújo, E.A. Veit e J. Schell, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **39**, e3403 (2017).
- [5] N. Lasry, E. Mazur e J. Watkins, *American Journal of Physics* **76**, 1 (2008).
- [6] E.D. Kiehl, S.C.R Silva e A.F. Miquelin, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **39**, e4405 (2017).
- [7] T.E. Oliveira, I. S. Araújo, E. A. Veit. *A Física na Escola* **14**(2), 22 (2016).
- [8] W.T. Jardim, *A Física na Escola* **14**(1), 22 (2016).



XXIII Simpósio Nacional de Ensino de Física XXIII SNEF

27 de Janeiro a 01 de Fevereiro de 2019
Salvador, Bahia

Ensino de Física no século XXI:
caminhos para uma Educação
Inclusiva

Informações na aba de Eventos do portal da SBF

