

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Madge Bianchi dos Santos

Uma sequência didática com os métodos
Instrução pelos Colegas (*Peer Instruction*) e Ensino sob Medida
(*Just-in-time Teaching*)
para o estudo de Ondulatória no Ensino Médio

Porto Alegre

2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Madge Bianchi dos Santos

Uma sequência didática com os métodos
Instrução pelos Colegas (*Peer Instruction*) e Ensino sob Medida
(*Just-in-time Teaching*)
para o estudo de Ondulatória no Ensino Médio

Dissertação realizada sob orientação do Prof. Dr. Ives Solano Araujo e coorientação da Profa. Dra. Eliane Angela Veit, apresentada no Instituto de Física da UFRGS em preenchimento parcial aos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ensino de Física.

Porto Alegre

2016

Aos meus pais, meu irmão e minha avó materna, à quem admiro e agradeço profundamente por todo apoio até aqui.

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores, prof.^a Eliane Angela Veit e prof. Ives Solano Araujo, pela paciência, pelo exemplo, pela persistência. Sem eles, provavelmente esse trabalho não se realizaria.

Aos meus pais, ao meu irmão e à minha avó materna, por todo o carinho e apoio. Em especial, à minha mãe Rosemary, que, não importando qual fosse a dificuldade, estava sempre presente.

Aos colegas da pós-graduação, pela colaboração, pela amizade, pelos cafés, pelos churrascos legítimos gaúchos, por tudo que deixou as boas recordações que tenho.

Ao prof. Fernando Lang pelas revisões, discussões, pela disponibilidade e paciência de ensinar.

A todos os professores do Programa de Pós-graduação em Ensino de Física com quem pude estudar, em especial ao prof. Marco Antônio Moreira e à prof.^a Victoria Elnecave Herscovitz, pela dedicação, por proporcionarem excelentes aulas.

Ao colega Victor Bexiga, pela indicação do aplicativo Plickers, que facilitou o registro e a contagem das respostas nas votações do método Instrução pelos Colegas.

Ao meu namorado, pelo companheirismo e pela amizade.

À Capes pelo apoio financeiro para realização deste trabalho.

“Então, vejam vocês, é preciso dizer que *para um mesmo volume* o mercúrio pesa mais do que a água. Em lugar de dizer esta longa frase, diz-se: o mercúrio é mais denso do que a água.”

Marie Curie, em aulas anotadas por
Isabelle Chavannes em 1907

RESUMO

O objetivo deste trabalho é o ensino de ondulatória através de uma metodologia ativa de ensino que permita aos estudantes se engajarem com a própria aprendizagem. Para atingir esse objetivo, foi desenvolvida uma sequência didática que originou um produto educacional aplicável em aulas de Física no ensino médio. A metodologia implementada integrou os métodos ativos Instrução pelos Colegas (*Peer Instruction*) e Ensino sob Medida (*Just-in-time Teaching*), buscando o envolvimento cognitivo dos alunos. Além desses métodos, a sequência didática incluiu uma atividade experimental com espectrógrafo de baixo custo, atividades de resolução de problemas e dois debates, sobre o uso de câmara de bronzeamento artificial e a instalação de usina de fissão nuclear. O suporte teórico da metodologia foi a Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud. As aulas foram estruturadas a partir de questões norteadoras com potencial de se tornarem situações-problema para os alunos. O produto educacional contém tarefas de leitura (com textos e questões sobre os textos), uma lista de testes conceituais, listas de problemas quantitativos, um modelo de minirrelatório e um opinário. As 21 aulas dessa proposta foram desenvolvidas com duas turmas de segundo ano do ensino médio, da rede privada de ensino, na cidade de Joaçaba, Santa Catarina. As atividades propostas foram realizadas com êxito. As respostas dos estudantes permitiram concluir que houve aprendizagem durante a aplicação da metodologia. Os resultados do opinário mostraram que houve boa receptividade à proposta de trabalho pela maioria dos estudantes que consideraram metodologia melhor para seu aprendizado do que os métodos tradicionais de ensino.

Palavras-chaves: Instrução pelos Colegas, Ensino sob Medida, Ondulatória.

ABSTRACT

The main goal of this work is to teach waves through an active learning methodology that engages cognitively the students with their own learning. To achieve this goal, a didactic sequence was developed as an educational product to be used in high school physics classes. The present approach integrated two active learning methods - Peer Instruction and Just-in-Time Teaching - aiming to get more student engagement. In addition to these methods, other kinds of activities were included: an experimental activity with low cost spectrograph, problem solving and debates about tanning beds and nuclear plants. The Vergnaud's Theory of Conceptual Fields supports this work. The lessons were organized around leading questions, which could turn out to be problem-situations to be solved by the students. The educational product contains a set of reading assignments, including texts and tasks, concept tests, problems list, a small report template and a questionnaire to gather the students' opinions about the methodology. Twenty one lessons were applied to two classes for high school students at a private school in a Brazilian city (Joaçaba, in Santa Catarina). The results revealed the applicability of this teaching proposal. Answers given by the students showed that the learning was successfully achieved during the use of this methodology. The students' evaluation was very positive. They considered this methodology more efficient for their learning than traditional teaching methods.

Keywords: Peer Instruction, Just-in-Time Teaching, Waves

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	ESTUDOS RELACIONADOS	23
2.1	Instrução pelos Colegas e Ensino sob Medida em aulas de Física no Ensino Médio	23
2.2	Concepções de estudantes acerca de conceitos associados a ondas ...	28
2.3	Ondas e a Teoria dos Campos Conceituais	39
3	TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS DE VERGNAUD	43
4	METODOLOGIA	51
4.1	Contexto	51
4.2	O planejamento das Aulas	52
4.3	Material desenvolvido	54
4.3.1	<i>Textos de Apoio e Tarefas de Leitura (TL)</i>	55
4.3.2	<i>Testes Conceituais (TC)</i>	56
4.3.3	<i>Problemas quantitativos (P)</i>	58
4.4	Sugestões de Recursos para as Aulas	58
4.5	O método de votação: <i>Plickers</i>	60
4.6	Opinário – avaliação da aplicação	63
5	A APLICAÇÃO	65
5.1	Relato das aulas 1 a 6 (situação envolvendo <i>tsunami</i>)	65
5.1.1	<i>Relato da aula 1</i>	69
5.1.2	<i>Relato da aula 2</i>	71
5.1.1	<i>Relato da aula 3</i>	72
5.1.2	<i>Relato da aula 4</i>	72
5.1.3	<i>Relato da aula 5</i>	76
5.1.4	<i>Relato da aula 6</i>	77
5.2	Relato das aulas 7, 8 e 9 (situação envolvendo voz e comunicação via telefone celular)	78
5.2.1	<i>Relato da aula 7</i>	82
5.2.2	<i>Relato das aulas 8 e 9</i>	83

5.3	Relato das aulas 10 a 12 (situação envolvendo espectro solar e de outras fontes de luz).....	84
5.3.1	Relato da aula 10	87
5.3.2	Relato da aula 11	88
5.3.3	Relato da aula 12.....	90
5.4	Relato das aulas 13 a 15 (situação envolvendo ultrassonografia e novamente tsunami).....	92
5.4.1	Relato da aula 13.....	95
5.4.2	Relato da aula 14	95
5.4.3	Relato da aula 15.....	96
5.5	Relato das aulas 16 a 21 (radiações ionizantes)	96
6	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	103
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	109
	REFERÊNCIAS.....	111
	APÊNDICE A – Textos de Apoio e Tarefas de Leitura.....	115
	APÊNDICE B – Testes Conceituais.....	134
	APÊNDICE C – Problemas Quantitativos	157
	APÊNDICE D – modelo de minirrelatório	169
	APÊNDICE E – Opiniário.....	172

1 INTRODUÇÃO

O ensino e a aprendizagem de Física no Brasil têm graves problemas. Um deles, o modelo de aula expositiva e avaliação via prova escrita, como metodologia majoritária ou exclusiva de ensino, tem se mostrado desmotivador para os estudantes. A aula tradicional não dá ao aluno papel ativo no processo de aprendizagem (KANTROWITZ, 2016; FREEMAN et al., 2014). Essa situação dificulta o ensino e a aprendizagem e torna o envolvimento cognitivo dos alunos um desafio ainda maior para o professor.

Diante desse cenário, faz-se necessário encontrar práticas que facilitem o aprendizado e estimulem a participação dos estudantes. Este trabalho apresenta uma sequência didática em ondulatória no ensino médio, aplicada em duas turmas de segundo ano de uma escola da rede privada de Santa Catarina. Utilizamos uma metodologia construída com base em métodos ativos que, além de facilitar a aprendizagem dos conceitos, pode tornar as aulas mais interessantes para os estudantes. Fazem parte da nossa proposta dois métodos que têm mostrado bons resultados na pesquisa em ensino de Física: o *Peer Instruction* e o *Just-in-Time Teaching*. Usaremos a tradução Instrução pelos Colegas (IpC) para o primeiro e Ensino sob Medida (EsM), conforme sugerido por Araujo e Mazur (2013).

O IpC é um método de ensino criado pelo professor Eric Mazur, da Universidade de Harvard (EUA), no final dos anos 90, e usado originalmente em aulas de Física em cursos de graduação (ARAUJO e MAZUR, *ibid.*). Nessa proposta, a aula é composta por curtas exposições do professor, tipicamente 10min a 15min, intercaladas por questões conceituais de múltipla escolha. Os alunos votam individualmente e o professor pode obter, em tempo real, indicativos das dúvidas dos alunos. Quando a taxa de acertos na votação individual fica entre 30% e 70%, os alunos, em duplas ou trios, discutem a questão e fazem nova votação. Daí a denominação do método: Instrução pelos Colegas.

O EsM foi desenvolvido em 1999 por Gregor Novak (Universidade de Indiana, EUA) com a colaboração de outros professores (NOVAK et al., 1999), também para as aulas de Física, mas posteriormente sendo aplicado em aulas de outras disciplinas de cursos de graduação. Por meio do EsM, o professor incentiva os alunos a desenvolverem hábitos de estudo. Cada aluno tem acesso, antes da aula, a materiais (textos, vídeos, simulações) sobre o assunto a ser estudado e responde duas ou três questões. O professor, recebendo as respostas dessas questões (antes do momento da aula), pode planejar mais adequadamente o que será feito em aula de forma a melhor atender aquele grupo de alunos (ARAUJO e MAZUR, 2013). Daí a denominação do método: o ensino é sob medida para aqueles alunos.

Esses dois métodos possuem a vantagem de fazer com que o aluno participe de forma mais ativa nas aulas, se comparado ao ensino tradicional, com aulas essencialmente monológicas e expositivas. Como consequência, resultados de pesquisa mostram que o desempenho dos alunos melhora em comparação com os resultados tradicionais. Por exemplo, Freeman et al. (2013) relatam uma análise quantitativa do número de acertos em testes com universitários em disciplinas de Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática, em um universo de 225 alunos. Os resultados mostram que os estudantes que tiveram aulas tradicionais são uma vez e meia mais propensos a errar nos testes do que os que participaram de aulas com os chamados métodos ativos de ensino. Tais resultados também são apontados por Deslauriers, Schelew e Wieman (2011) em um estudo que compara duas turmas inicialmente equivalentes em desempenho, e depois submetidas uma ao método tradicional e outra a aulas com os métodos IpC e EsM combinados. Araujo e Mazur (ibid.) reforçam esta ideia, indicando esse e diversos outros trabalhos em que o IpC tem mostrado melhores resultados de aprendizagem quando comparado ao uso de métodos tradicionais. Métodos ativos ainda são pouco difundidos e investigados no Brasil. Duas das publicações a respeito são as de Müller (2012) e Oliveira (2012), que aplicaram o IpC e fizeram relatos da experiência em turmas de ensino médio no Brasil.

A falta de motivação no estudo de Física é outro fator que dificulta a aprendizagem. A aplicação de novas e diversificadas metodologias, que envolvam o aluno emocional e cognitivamente, é uma necessidade da escola atual e pode contribuir para a motivação dos alunos. Outros benefícios que podem vir dessas

práticas são a melhoria nos resultados de aprendizagem e a redução da evasão escolar.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver e aplicar a alunos do segundo ano do ensino médio uma sequência didática sobre Ondas, que estimule o envolvimento cognitivo e que seja factível no turno das aulas. O IpC e o EsM são métodos de ensino integrados em nossa proposta. As aulas foram preparadas para serem aplicadas em períodos de 45 minutos cada, com tarefas diversificadas, e organizadas em cinco grupos de situações. Os conceitos foram estudados com o EsM e o IpC, além de uma atividade experimental, uma de leitura e debate e outras com resolução de problemas numéricos em pequenos grupos.

Estruturamos a sequência didática em cinco grupos de questões norteadoras que possam se tornar situações¹ para os estudantes. A primeira questão é *“Por que os tsunamis² são chamados de ondas gigantes se não são sempre ondas ‘altas’ como as que os surfistas buscam para recordes de surfar na maior onda?”*. As aulas de 1 a 6 estão ligadas a esta questão norteadora. O motivo dessa escolha foi constatarmos, na nossa experiência com estudantes de ensino médio, que a maioria deles mostra grande curiosidade e interesse sobre o assunto. Além disso, onda marítima é, em geral, o primeiro fenômeno lembrado pelos estudantes quando começam a estudar ondulatória. Os estudantes receberam um texto (com indicações de vídeos e simulações) para ser lido antes das aulas, e uma pequena tarefa sobre o texto, a ser entregue também antes da aula. O objetivo era identificar os assuntos que já conseguiam compreender a partir da leitura e em quais tiveram mais dificuldades de compreensão. Esse conjunto de texto e tarefa chamamos de Tarefa de Leitura. Foram utilizadas duas para essa situação: uma para as aulas 1, 2 e 3, e outra para as aulas 4, 5 e 6. As respostas foram analisadas antes da aula. Assim, ajustamos o planejamento das aulas para atender melhor as dificuldades específicas daquele grupo de estudantes. Durante as aulas 1 a 6, comentamos as respostas dos estudantes, aplicamos o método Instrução pelos Colegas, e também realizamos uma atividade de resolução de problemas quantitativos.

¹ Utilizamos a palavra *situação* com o conceito de Vergnaud. Situação é tarefa, algo a ser resolvido. O professor propõe atividades que ajudem os alunos a resolver a situação. Desenvolveremos mais este significado no Capítulo 3.

² *Exemplos* recentes de ocorrência de *tsunami*: Japão, 11 de março de 2011 e Indonésia, 26 de dezembro de 2004.

A segunda situação foi *“Como a voz de outra pessoa em um local distante chega tão rápido ao meu celular?”*. As aulas 7, 8 e 9 estavam ligadas a essa situação. Utilizamos os mesmos tipos de atividades que nas aulas anteriores, inclusive com uma Tarefa de Leitura.

“Qualquer fonte de luz apresenta as mesmas cores que a luz do Sol?” foi a terceira situação. Antes das aulas ligadas a ela (aulas 10, 11 e 12) aplicamos uma Tarefa de Leitura. No início da aula 10, comentamos as respostas dos estudantes e fizemos uma breve exposição sobre o espectro visível da luz solar e a construção do espectrógrafo. Nas três aulas, os estudantes construíram um espectrógrafo de baixo custo, observaram e fotografaram espectros da luz emitida de diferentes fontes e compararam os espectros, escrevendo um minirrelatório, em grupos.

Para a quarta situação, escolhemos dois assuntos: ultrassonografia e retornar aos tsunamis (*“Ultrassonografia – como funciona? Os tsunamis sofrem que alterações ao se aproximar da costa?”*). Uma Tarefa de Leitura foi utilizada para as aulas ligadas a essa situação (aulas 13, 14 e 15). Nas aulas, comentamos as respostas com os estudantes e aplicamos o método Instrução pelos Colegas. Houve também outra atividade de resolução de problemas quantitativos.

Finalmente, a quinta situação era conhecer os riscos das radiações ionizantes à saúde humana. A atividade proposta foi o debate. Não aplicamos uma Tarefa de Leitura antes dessas aulas. A leitura antes das aulas era a preparação para o debate. Os estudantes selecionaram textos e os traziam para as aulas para preparar, em grupos, quais argumentos iriam utilizar e de que forma organizariam a apresentação. Havia dois temas para debate: o uso de câmaras de bronzeamento artificial (para estudar a radiação ultravioleta) e a instalação de usinas nucleares (para estudar a radiação gama). As aulas 16 a 21 compreenderam discussão entre os estudantes, preparação e realização dos debates. Na aula 21, aplicamos um questionário para que os estudantes avaliassem a aplicação da sequência didática.

O planejamento foi feito para que, durante o desenvolvimento das aulas, conceitos e leis fossem introduzidos e também revisitados em novas situações, agregando-lhes novos significados e ampliando os já existentes. Essa é uma das características trazidas pelo referencial teórico que suporta esse trabalho: a Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud (1982). A Teoria dos Campos Conceituais centra o ensino e a aprendizagem na conceitualização, e os conceitos ganham sentido através das situações. Situação, nessa teoria, é uma tarefa a ser

resolvida – é por isso que a sequência didática aqui apresentada foi organizada a partir das questões norteadoras, com a intenção que elas se tornassem situações-problema para os estudantes. Enquanto o estudante está resolvendo a situação, sente a necessidade de compreender os conceitos e estes vão ganhando significado.

Existem trabalhos sobre o ensino e aprendizagem de ondas embasados na Teoria dos Campos Conceituais. Souza, Lara e Moreira (2004), por exemplo, trabalharam com estudantes de fases iniciais de cursos de graduação. Julgamos que estudos como esse foram importantes para pensar o planejamento de nossa sequência didática. O Capítulo 2, intitulado Estudos Relacionados, tem uma parte sobre Ondas e Teoria dos Campos Conceituais, além de outras duas: uma sobre IpC e EsM no Ensino Médio e outra sobre Concepções acerca de Ondas.

A Metodologia, exposta no Capítulo 4, delinea a sequência didática e apresenta o material desenvolvido (o material completo – o produto educacional – encontra-se nos apêndices). A aplicação é descrita na seção seguinte, por grupo de situações, e logo após é apresentada a análise dos resultados obtidos nos testes conceituais, nas tarefas de leitura e a análise do questionário de avaliação da proposta.

Espera-se que essa proposta e os materiais desenvolvidos possam auxiliar a prática de professores de ensino médio (e talvez em outros níveis), e inspirar novas experiências em sala de aula em prol de mudanças significativas no ensino de física. Este trabalho também pretende auxiliar a divulgação do uso de métodos ativos de ensino, sugerindo formas de adaptá-los à realidade de escolas no Brasil.

2 ESTUDOS RELACIONADOS

Neste capítulo são apresentados estudos da literatura que, em alguma medida, foram relevantes para o desenvolvimento do presente trabalho. Na seção 2.1 são apresentados artigos sobre os métodos Instrução pelos Colegas e Ensino sob Medida; na seção 2.2, concepções de estudantes acerca de conceitos relacionados a ondas; e na última seção, trabalhos sobre o estudo de ondas ancorados na Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud.

2.1 Instrução pelos Colegas e Ensino sob Medida em aulas de Física no Ensino Médio

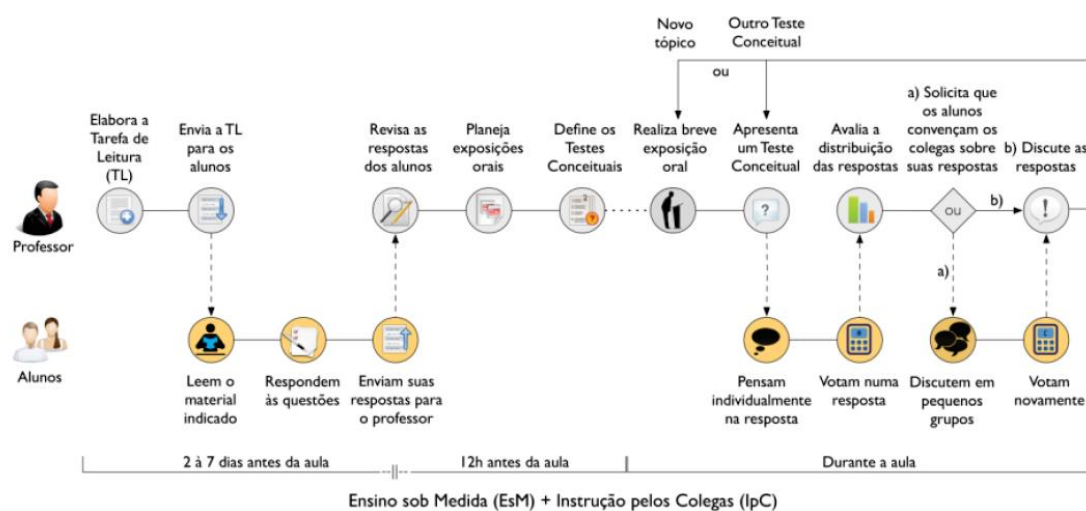
A proposta de utilizar o IpC e o EsM conjuntamente é apresentada por Araujo e Mazur (2013) como uma alternativa ao demasiado uso de aulas expositivas e repetição de resolução de problemas (pelo professor) no quadro, o que talvez ocorra por tradição ou falta de opções consideradas seguras pelo professor. Há muitas críticas a essa prática tradicional, mas são poucas as soluções concretas que aparecem como boas alternativas. O artigo aponta diversos trabalhos em que o IpC e o EsM retornaram resultados de aprendizagem melhores do que o método tradicional, tanto em diferentes níveis (médio e superior), como em diferentes áreas (Física, Biologia, Química, Filosofia, entre outras). A Figura 1, extraída de Araujo e Mazur (ibid.), apresenta um esquema do uso conjunto desses dois métodos.

É possível perceber, através da Figura 1, o papel do professor como propositor de situações e guia no desenvolvimento cognitivo do aluno, bem como o papel mais ativo do aluno.

Primeiramente, o professor elabora a Tarefa de Leitura e a envia para os alunos. Em seguida, os alunos leem o material (assistem vídeos indicados, interagem com simulações), respondem às questões da tarefa e enviam as respostas para o professor. O professor, então, revisa as respostas e planeja a aula (ou faz ajustes, se a aula já estava planejada) com as miniexposições e os Testes Conceituais. Na etapa “Durante a aula”, ocorrem as votações para responder os

Testes Conceituais, apresentados com projetor multimídia. Nas votações, o professor avalia a distribuição das respostas e decide se os alunos discutem entre si sobre as alternativas (caso dos acertos entre 30% e 70%) ou se ele discute com os alunos sobre as alternativas (mais de 70% de acerto). Se o acerto for inferior a 30%, o professor reexplica o conceito. Ao fim, o professor pode aplicar outro Teste Conceitual sobre o mesmo conceito ou passar para outro tópico, reiniciando com outra miniexposição.

Figura 1 – Organização das etapas com IpC e EsM combinados.



Fonte: Araujo e Mazur, 2013, p. 374.

Entre as alternativas apresentadas pelos autores como métodos de votação no Teste Conceitual estão os *clickers* e os *flashcards*. Os *clickers* são pequenos dispositivos eletrônicos (com teclado numérico) conectados via *wi-fi* (ou infravermelho, ou radiofrequência) ao computador do professor. Assim que cada aluno vota, o professor recebe os resultados no seu computador, podendo visualizar a informação de forma estatística, com a vantagem de os alunos desconhecerem as respostas uns dos outros. Os cartões-resposta (*flashcards*) são conjuntos de cartelas letras correspondentes a cada uma das alternativas de resposta, podendo ser de cores distintas para facilitar a leitura. Cada aluno recebe um conjunto e levanta a cartela correspondente à alternativa escolhida, toda a vez que o professor colocar um teste conceitual em votação.

Araujo e Mazur (2013) enfatizam que apenas a utilização de dispositivos eletrônicos de votação ou cartões-resposta para fazer votações não é a aplicação do método IpC, tampouco somente propor Tarefas de Leitura antes da aula é usar o

EsM. A interação entre os colegas e o tempo para que pensem e discutam sobre as alternativas em aula são essenciais no IpC. Já no EsM, preparar as aulas de acordo com as dificuldades apresentadas na Tarefa de Leitura, discutir as questões e o assunto da tarefa em sala de aula e elaborar atividades em grupo para o assunto são ações indispensáveis. Estes são elementos que caracterizam os métodos.

Outro ponto crucial apresentado por Araujo e Mazur (ibid.) é a qualidade dos Testes Conceituais no IpC – ela influencia a qualidade das discussões entre os estudantes. Os Testes Conceituais devem estimular o pensamento analítico e evitar respostas que exijam simples memorização de algo lido. Também se deve ter cuidado na escolha das questões para a Tarefa de Leitura; elas não podem ser respondidas apenas com cópia de um trecho da leitura indicada pelo professor.

Os autores acima referidos citam diversos casos na literatura que apontam melhorias significativas na aprendizagem de conteúdos de Física, na interação entre os estudantes, na motivação para participar das aulas e no desenvolvimento de habilidades metacognitivas por parte dos estudantes. O IpC e o EsM não são apresentados como solução única e perfeita para os problemas no ensino de física, mas como uma das alternativas possíveis, uma resposta concreta às dificuldades enfrentadas no dia a dia dos docentes e também dos estudantes. Também não se critica a aula expositiva em si, mas a escolha de usar *apenas* a metodologia expositiva. O artigo sugere uma alternativa para o ensino de Física e apresenta as vantagens detectadas em diversos trabalhos na literatura.

Ainda há poucas publicações sobre a aplicação do IpC no ensino médio. Um caso é apresentado por Müller *et al.* (2012), que também testam outra alternativa para o sistema de votação: os formulários do aplicativo gratuito *Google Forms*, acessados pelos alunos através dos computadores do projeto UCA (Um Computador por Aluno) da rede pública federal em Porto Alegre, RS. A turma que participou das aulas com aplicação do IpC era composta por 34 alunos. Müller observou aulas na turma durante dois meses sem a aplicação do IpC e durante os dois meses seguintes com a aplicação do IpC.

Os resultados da pesquisa de Müller foram analisados com base em quatro eixos: a atitude dos estudantes quanto ao IpC, a receptividade na utilização dos computadores do UCA, a viabilidade dos computadores do UCA no método de

votação e a convergência para a resposta correta no IpC. Os autores concluíram que os estudantes receberam muito bem o IpC e o avaliaram como melhor ou muito melhor que o método tradicional (aula expositiva ou expositivo-dialogada). Os estudantes também apontaram a interação entre eles como fator positivo, além do fato de poderem testar sua compreensão do assunto logo após a explicação do professor. Perceberam que o método ajudou a manter a atenção nas aulas e que as aulas ficaram mais interessantes. A aplicação do IpC mostrou resultados positivos, com dados expressivos de convergência para a resposta correta. Os resultados do trabalho de Müller *et al.* (2012) corroboram resultados na literatura estrangeira. Na maior parte das respostas dadas a diferentes questões conceituais formuladas, os alunos que escolheram uma resposta incorreta foram convencidos pelos que escolheram a resposta correta e acertaram a resposta na segunda votação. Não houve nenhum caso de aumento da porcentagem de votos na resposta incorreta, na segunda votação.

Outro caso de aplicação de métodos ativos em aulas no ensino médio é descrito por Oliveira (2012), em sua dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ensino de Física da UFRGS. A proposta foi estudar tópicos de eletromagnetismo aplicando o uso integrado do IpC e do EsM. O tópico foi estudado em doze encontros de uma hora e trinta minutos cada, com uma turma de ensino médio do Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSul) composta por 30 estudantes.

O trabalho mostrou a viabilidade do uso dos métodos em conjunto e no ensino médio, proporcionando as possibilidades de estudo colaborativo entre os alunos e de o professor obter *feedback* em tempo útil, além de facilitar a aprendizagem através de leituras prévias sobre os assuntos estudados. O uso dos cartões resposta como alternativa aos *clickers* mostrou resultados satisfatórios, embora alguns estudantes explicitassem sua preferência pelos *clickers* (os *clickers* foram utilizados em uma única aula da aplicação). Foram realizadas três aulas de resolução de problemas numéricos, com os estudantes trabalhando em pequenos grupos e tendo o auxílio do professor quando necessário. Os métodos foram muito bem aceitos, de maneira geral. As respostas no questionário de avaliação evidenciaram a motivação dos estudantes e a valorização da aprendizagem colaborativa. Alguns estudantes escreveram nos questionários que gostariam de mais aulas de resolução de problemas, mas consideraram fundamental o

aprendizado dos conceitos facilitado por um método mais interativo. Através dos questionários, do relato e análise do autor, pode-se perceber a importância dada pelos estudantes ao uso de métodos inovadores que possibilitem maior participação dos mesmos nas aulas. Eles apontaram esses fatores como facilitadores de aprendizagem. É preciso destacar também o fato de se mostrarem muito motivados com o novo método de ensino.

Oliveira (2012) comenta ainda a necessidade de maior dedicação por parte do professor na elaboração de materiais que permitam o uso destes métodos, mas também sugere que professores que desejem experimentar essa proposta podem usar materiais prontos já disponíveis como o produto da sua dissertação, e aos poucos ir desenvolvendo os próprios. Além do produto educacional contendo os Textos de Apoio, as Tarefas de Leitura e os Testes Conceituais, Oliveira desenvolveu um minidocumentário que está disponível gratuitamente na página do *YouTube*³. Uma síntese dos resultados obtidos na dissertação de Oliveira é apresentada por Oliveira, Veit e Araujo (2015).

As propostas de Oliveira (2012) e Müller et al. (2012) foram inseridas na realidade escolar, com conteúdos trabalhados dentro do tempo regular dos programas de ensino, nos horários normais das aulas. São, portanto, indicadores da possibilidade de mudanças no ensino de Física do dia a dia de sala de aula, tornando-o mais agradável aos estudantes e convocando-os a serem mais ativos no processo de aprendizagem.

Centramo-nos aqui em aplicações no ensino médio. No ensino superior, há muitos relatos, inclusive no Brasil, sobre uso do IpC, principalmente. Barros et al. (2004) relatam uma aplicação em um curso de Física I da Universidade Federal de Juiz de Fora. Comparam os resultados em testes após aulas apenas expositivas e após aulas com o IpC, mostrando que o método ativo favoreceu o melhor desempenho dos estudantes. Eles listam características do comportamento de estudantes no modelo passivo de aprendizagem, que reconhecemos como frequentes em estudantes de ensino médio também. Por exemplo:

³ O minidocumentário está disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Y2G7doW3Mcs>.

“Concentrar em memorização, ao invés do entendimento. Estudar nas vésperas de provas para obter notas, ao invés de conhecimentos. Utilizar para auto-avaliação somente notas, ao invés de refletir sobre seu progresso.” (BARROS et al., 2004, p. 63).

A utilização de métodos ativos desestimula tais comportamentos. A discussão, a argumentação, o raciocínio analítico são necessários para realizar as atividades dos métodos IpC e EsM, por exemplo.

É comum e conhecido de professores de ensino médio o fato de estudantes considerarem as aulas tradicionais maçantes, desinteressantes, e de muitos resumirem a Física a um conjunto de fórmulas sem muito significado e desconexo da realidade em que vivem. Precisamos refletir sobre a nossa prática, questionando sempre se apenas a boa apresentação de um conceito é suficiente para garantir aprendizado. Citando Moreira (2002):

“Vergnaud chama de ‘ilusão pedagógica’ (1983 b, p. 173) a atitude dos professores que crêem que o ensino de Física digamos, consiste na apresentação organizada, clara, rigorosa, das teorias formais e que quando isso é bem feito, os alunos aprendem.” (MOREIRA 2002, p. 23).

2.2 Concepções de estudantes acerca de conceitos associados a ondas

Discutimos nesta seção alguns trabalhos que evidenciam concepções de estudantes sobre conceitos em ondulatória. No fim da seção, os principais resultados são sintetizados em um quadro com as preconcepções identificadas nos trabalhos e agrupadas de acordo com os conceitos aos quais se referem.

Iniciaremos discutindo sobre um estudo com alunos de um curso de graduação (BRAVO e PESA, 2005a), pois estudantes de graduação em fase inicial ainda não passaram por muitas situações diferentes dos estudantes de nível médio em ambientes de ensino de Física, e consideramos que as concepções identificadas por Bravo e Pesa podem estar bem próximas das que procuramos.

Bravo e Pesa (2005a) analisaram as concepções de estudantes de graduação em engenharia, em uma disciplina de Física Básica. O estudo foi centrado nas representações relativas à velocidade de propagação de ondas, dependência da velocidade com o meio de propagação, as variáveis envolvidas e as relações entre

elas, e se a Teoria dos Campos Conceituais é um bom referencial para analisar tais representações. As autoras identificaram modelos construídos pelos estudantes mediante situações propostas. Três situações envolvendo ondas mecânicas eram propostas aos alunos: propagação de uma “*ola*” em um estádio (situação que apresenta semelhanças com uma propagação de onda), propagação de um pulso transversal numa corda tensionada e propagação de um pulso longitudinal numa mola tensionada.

Os alunos responderam questionários sobre as situações propostas após terem participado de aulas teóricas e resolvido problemas típicos de livros texto de cursos de Física básica. Metade dos alunos associou maior velocidade de propagação do pulso na corda com maior rapidez na geração dos pulsos e 20% associou maior velocidade de propagação com maior amplitude. Aproximadamente metade também associou maior energia com maior amplitude do pulso e maior rapidez no movimento da mão para produzir o pulso – a energia propagada pela onda depende, de fato, da frequência (determinada pela mão que agita a corda) e da amplitude da onda⁴. 40% associou corretamente a velocidade de propagação às características físicas do meio. 60% dos alunos indicaram, também corretamente, a tensão na corda como fator que influencia a velocidade de propagação, mas apenas 15% o fizeram no caso da mola.

As autoras identificaram três tipos de representações utilizadas pelos estudantes como modelos de trabalho para enfrentar as situações (e os chamaram de A, B e C). A representação tipo A era formada por aspectos perceptíveis misturados a conceitos aprendidos durante as aulas e com uso acrítico de grande quantidade de expressões em linguagem simbólica, também aprendidas nas aulas. A figura de uma senoide em movimento é marcante nessa representação (necessidade de ligar o conceito de onda a uma figura com movimento, aspecto visualmente perceptível). Outra marca forte dessa representação é a ausência do conceito de velocidade de propagação, do meio de propagação e das características do meio. Já as representações dos tipos B e C, apesar de ainda apresentarem fortemente a figura visual de uma senoide, são formadas por mais elementos, com

⁴ Para maiores esclarecimentos, recomendamos as notas de aula do prof. Antônio Roque, USP, com título: “A Equação de Onda em Uma Dimensão (continuação)” disponíveis em <http://sisne.org/Disciplinas/Grad/Fisica2FisMed/aula17.pdf>.

conceitos mais próximos dos científicos. Aparece também a busca de relação entre as variáveis que descrevem uma onda, para caracterizar o movimento como ondulatório. Apenas no modelo C a presença dos conceitos de meio de propagação e de energia transmitida é mais acentuada, assim como a exigência de uma transmissão, ou propagação, como característica imprescindível de uma onda mecânica. Em um desses modelos de trabalho, o meio de propagação é indicado como um fator determinante da velocidade de propagação, mas não se faz menção às propriedades elásticas do meio.

Chamou a atenção das autoras o fato de a representação do tipo A não ser usada por nenhum estudante na situação do pulso longitudinal propagando-se na mola. Elas constataram que uma mesma situação pode gerar diferentes modelos de trabalho, com diferentes representações. Concluíram que é importante propor situações problemáticas que levem os estudantes a refletirem sobre o papel do meio de propagação em relação à velocidade de propagação de ondas mecânicas, identificando as características físicas do meio como relevantes nessa relação.

Outra investigação que trouxe evidências de concepções em ondas foi realizada por Silva e Souza (2014a) com estudantes de uma escola pública do Distrito Federal em 2008, no turno noturno, na modalidade Educação de Jovens e Adultos (EJA). Os autores investigaram se era viável o ensino de Óptica a partir de conceitos de ondulatória. Houve um grupo de trabalho e um de comparação. Para o grupo de trabalho, foram propostas atividades experimentais interativas para iniciar o estudo dos conceitos associados a ondas e uma atividade de identificação de conhecimentos prévios dos estudantes, incluindo um pré-teste. Foram realizados quatro conjuntos de atividades: sobre os conceitos iniciais de ondulatória e os conceitos de reflexão, interferência e de difração. Após a realização de cada conjunto, foi feita uma revisão dos conceitos e, no fim de todo o processo, foi aplicado o pós-teste.

Quanto aos conceitos prévios identificados, Silva e Souza relatam que os alunos identificam movimento ondulatório em ondas no mar, ondas em cordas, em terremotos e em transmissões de rádio, mas poucos indicaram a necessidade de uma vibração para produção de ondas. Alguns estudantes citaram a necessidade de algo interagindo com uma corda para que se produzam ondas, mas não associaram

um movimento oscilatório a essa interação. Quando foi solicitado representar luz emitida por uma lâmpada, houve forte associação com energia, mas não houve representação de ondas nem de sentido de propagação, apenas raios de luz representados como segmentos de retas não orientados. No pré-teste, 37,5% dos alunos indicaram que um ponto numa corda oscila quando uma onda passa por ele. 75% dos alunos afirmaram haver alguma relação entre ondas e luz, mas não apresentaram justificativas consistentes para sua afirmação. Nas atividades sobre reflexão de ondas, também foram detectadas dificuldades em representar o sentido de propagação da onda incidente e da onda refletida e que alguns consideraram só haver reflexão de ondas quando elas encontram obstáculos fixos.

Os testes aplicados nesse estudo mostraram que houve evolução conceitual nas explicações dos estudantes na maioria dos conceitos evidenciados nas situações. Em relação a alguns conceitos, houve maior dificuldade de retenção dos conhecimentos envolvidos ou de relacionar uns conceitos a outros, principalmente quanto aos fenômenos de interferência e difração. A partir da análise destes e de outros resultados (como a comparação de respostas em avaliações entre grupo de trabalho e grupo de comparação), mostrou-se viável a proposta de iniciar um curso de Óptica de forma não tradicional, enfatizando o caráter ondulatório da luz.

Silva e Souza (2014a) concluem que é viável estudar Óptica a partir de ondas, já que os resultados do pós-teste do grupo de trabalho foram consideravelmente melhores e que muitas respostas dos estudantes se aproximaram dos modelos científicos. Concluíram também que há maior dificuldade em compreender fenômenos não tão evidentes no cotidiano, como a interferência e a difração e que seria necessário desenvolver mais atividades para melhor aprendizagem desses fenômenos.

Silva e Martins (2010) desenvolveram uma unidade didática trabalhando a natureza da luz e o ensino de Óptica através de História e Filosofia da Ciência (HFC). O estudo foi realizado com duas turmas de ensino médio noturno da rede pública do Rio Grande do Norte. Os autores relatam respostas dos estudantes quanto à natureza da luz num questionário de diagnóstico de conhecimentos prévios. Nenhuma das respostas indicou alguma relação entre luz e ondas, ou que a luz seria um tipo de onda. O estudo visava investigar a viabilidade da análise de

textos de HFC nas aulas de ensino médio, para aprendizagem dos referidos assuntos. Essa análise não é relevante para nosso trabalho, por isso nos limitaremos às questões relativas a concepções sobre a luz. Quanto à questão da visão e de como enxergamos os objetos, a atividade de diagnóstico também mostrou respostas sem a ideia de ondas chegando ao sistema visual – novamente, a luz não é identificada como onda pelos estudantes. Houve leituras e discussões entre os estudantes confrontando o modelo corpuscular e o modelo ondulatório para a luz. Apesar de este estudo não ter como objetivo a análise de concepções de estudantes sobre a natureza ondulatória da luz, consideramos que ele traz uma importante contribuição: nos conhecimentos prévios da maioria dos estudantes, a luz não é identificada ou definida como um tipo de onda, mas a propagação de energia é frequentemente identificada. O trabalho de Silva e Souza (2014a), citado anteriormente, também contém registros que reforçam essa ideia.

Vale mencionar que Silva e Martins (2010) usaram também um método que estimulou a interação entre os estudantes, o de debates e júri simulado, e concluíram que a maior participação motivou os estudantes e tornou alguns menos “avessos” ao estudo de Física.

Morini (2009) apresenta, em sua dissertação, um relato de cinco atividades envolvendo ondas mecânicas. As atividades contêm experiências reais e experiências virtuais e foram desenvolvidas com uma turma de terceira série do ensino médio, de uma escola pública de Santa Catarina. Morini desenvolveu atividades experimentais (reais e virtuais), com tempo para observação, reflexão e discussão, afastando-se do modelo de roteiros como “receitas de bolo”. Essas atividades possibilitaram maior envolvimento dos estudantes, pois tiveram papel mais ativo no decorrer das mesmas. Houve grupo experimental e grupo controle, e os resultados em testes foram consideravelmente melhores no grupo experimental.

A autora realizou um pré-teste com o grupo experimental e com o controle. Aproximadamente 36% dos estudantes consideraram possível ouvir sons decorrentes de uma explosão no espaço sideral, alguns inclusive explicitaram que o

som se propagava a esmo no vácuo⁵. Quanto à diferença entre ondas transversais e longitudinais, apareceram concepções muito diversificadas. Por exemplo: ondas longitudinais são mais longas que ondas transversais, ondas longitudinais se espalham mais que ondas transversais, onda transversal é perceptível/visível e onda longitudinal não é, ondas longitudinais se propagam por distâncias maiores, entre outras, mas também apareceram algumas respostas corretas. De maneira geral, as respostas parecem ter base no que os estudantes associavam às palavras transversal e longitudinal e do contexto das ondas citadas (som e onda em corda). Quanto aos conceitos de frequência, velocidade de propagação e comprimento de onda, a questão proposta envolvia uma onda sonora propagando-se do ar para a água e as respostas também foram bem diversificadas. Alguns alunos responderam que o som aumentava, ou que a onda aumentava, não se referindo a nenhuma das três grandezas que constavam na questão. Um aluno indicou que o som fica mais “alto” na água (provavelmente referiu-se à intensidade) porque se propaga mais rápido na água. Alguns responderam que uma grandeza aumenta, outras duas diminuem, mas sem explicar o motivo. Na quarta questão, é proposta uma situação de superposição de pulsos de fases diferentes. Era perguntado o que ocorreria quando os pulsos se cruzassem. A maioria dos estudantes respondeu ou que os pulsos voltariam (como numa reflexão) ou que deixariam de existir ao colidirem.

No pós-teste, as respostas do grupo experimental tiveram avaliação melhor em relação às do grupo controle. A quantidade de acertos foi significativamente maior, assim como a qualidade das explicações. Morini relata que o empenho dos estudantes aumentou com o decorrer das atividades, e o entusiasmo também. As respostas apresentavam cada vez mais coerência e profundidade, utilizando melhor os conceitos físicos. A autora concluiu que os resultados foram satisfatórios e que o trabalho realizado modificou também a sua ação docente.

Um estudo envolvendo ondas eletromagnéticas foi realizado por Erthal e Linhares (2008). Eles desenvolveram um material didático voltado para o Ensino Médio, e também investigaram concepções dos estudantes nesse nível de ensino. Mencionam ainda que encontraram pouco material disponível na literatura,

⁵ O espaço sideral não é caracterizado por vácuo, mas a baixa densidade de partículas não permite a propagação de ondas sonoras audíveis pelo ser humano.

em relação a conhecimentos prévios de estudantes de ensino médio sobre radiações eletromagnéticas. Tais conhecimentos não são listados no trabalho, mas os autores desenvolveram o material didático de acordo com os resultados da sondagem, que apontou os assuntos que os estudantes tinham mais dificuldade de compreensão ou desconhecimento. Assim, decidiram trabalhar com geração, transmissão e propagação de ondas eletromagnéticas, e algumas das grandezas físicas que as descrevem. Os registros foram respostas aos questionários (de sondagem inicial e teste final) e gravações dos comentários e perguntas dos alunos durante a realização das atividades experimentais. Os testes finais mostraram um resultado satisfatório de aprendizagem e os registros deixaram evidente o envolvimento dos estudantes com as atividades propostas e a interação uns com os outros.

Reforçando ainda a nossa argumentação a favor da diversificação das estratégias de ensino e do constante esforço por estimular maior interesse dos estudantes pela aprendizagem de Física, destacamos um trecho do trabalho de Erthal e Linhares:

“Ao contrário do que muitos professores ingenuamente pensam, a visualização dos fenômenos apresentados não faz os alunos compreenderem ou descobrirem o que os provoca, mas os predispõe às vezes até os desafia a entender o que acontece.” (ERTHAL, LINHARES, 2008, p. 261).

A simples apresentação, seja de forma expositiva oral, seja na demonstração de um experimento real ou virtual, não é suficiente para que haja aprendizagem. O trabalho de Erthal e Linhares indica a importância da discussão entre os estudantes e da mediação do professor para que os conceitos sejam de fato compreendidos, ainda que parcialmente, já que o processo de aprendizagem por muitas vezes não se completa no intervalo de tempo de algumas aulas.

Gobara et al. (2007) investigaram, através de uma pesquisa exploratória, os conhecimentos prévios de estudantes de ensino médio sobre ondas e como esses conhecimentos afetavam a aprendizagem de ondas sonoras. A pesquisa foi realizada com 45 alunos de segundo ano do Ensino Médio de três escolas diferentes de Campo Grande. Esses estudantes responderam um questionário, em que algumas respostas foram solicitadas em forma escrita, outras em forma de desenho.

Os autores também relatam ter encontrado pouco material na literatura nacional sobre modelos explicativos de alunos de ensino médio sobre ondas. Antes da etapa de estudo sistemático, os modelos explicativos podem ser construídos pelos estudantes através de sua interação com os fenômenos da natureza, da percepção através dos sentidos, e mesmo das interações sociais. Por exemplo, o termo “onda de calor”, comumente usado em previsões do tempo em telejornais. Os estudantes usam tais práticas sociais como referência para construir seus modelos explicativos do mundo físico (GOBARA et al., 2007).

Uma pergunta no instrumento de sondagem no trabalho acima referido era “Você já ouviu uma onda? Se você já ouviu, dê exemplos.” (GOBARA et al., 2007, p. 8). A maior parte das respostas foi sobre ondas sonoras, mas houve quatro que não permitiram afirmar que os estudantes identificaram o som como onda. Esses quatro responderam já ter ouvido o barulho de ondas no mar. Alguns desenhos indicaram a noção de frentes de onda, outros de ondas senoidais. Alguns desenhos eram similares a representações comuns em livros, revistas, programas de TV. Outros desenhos não mostraram semelhanças com essas representações veiculadas na mídia impressa ou virtual, ou ainda em livros didáticos, e foram separadas em outra categoria para futura análise. Novamente apareceu a dificuldade em elaborar explicações para a geração de ondas. Um aluno, por exemplo, citou os corais como causa de ondas no mar e que os movimentos das cordas vocais se transformavam em som e conseqüentemente em onda. Os autores analisam a resposta do estudante, mostrando que ele utiliza modelos diferentes de geração e onda mecânica para as duas situações.

Outros elementos frequentes nas respostas foram a associação entre propagação de onda e transporte de matéria e expressões como “onda de frio” e “onda de calor”. Gobara e os demais pesquisadores informam que o trabalho é uma análise preliminar tanto para a pesquisa do grupo como para as pesquisas individuais dos membros, relativas à aprendizagem de ondulatória e que os elementos identificados estão em consonância com o que foi pesquisado na literatura.

Finalizamos esta seção com um levantamento de conhecimentos prévios dos estudantes agrupados por conceito com que se relacionam dentro da ondulatória.

Consideramos que a pesquisa dos trabalhos citados e o levantamento das concepções foram imprescindíveis para o desenvolvimento do material didático e da realização deste trabalho como um todo.

Salientamos ainda que não afirmamos que os conhecimentos listados a seguir são fisicamente incorretos. Um deles que merece destaque é em relação às ondas marítimas. Esse assunto é pouco discutido nos materiais didáticos de Física de ensino médio e de cursos de graduação (SILVEIRA, VARRIALE, 2005), apesar de comumente despertar grande interesse por parte dos estudantes. Este fato motivou fortemente a escolha de situações da nossa sequência didática.

Muitos estudantes, antes de participarem de aulas de Física, têm experiências com ondas em praias e a ideia de onda transportar matéria pode vir dessas experiências, já que eles veem objetos arrastados por ondas (às vezes eles próprios). Assim, há um conflito quando, nas aulas de Física e nos livros didáticos, estuda-se que “uma onda não transporta matéria”, mas não se especifica em que casos. É compreensível que isto gere confusão. Parece, para o aluno, que a Física que ele *observa* no mundo é uma e a que está nos livros didáticos é outra!

Como o assunto, em geral, desperta interesse dos estudantes, mais ainda se utilizarmos o exemplo do *tsunami*, deve-se aproveitar para especificar em que casos há transporte de matéria. Por exemplo, na região de arrebentação (*surf*) de ondas, há, de fato, transporte de matéria. Também em outras situações em regiões no mar fora da zona de arrebentação, pode haver transporte de matéria, como no caso do efeito de deriva de Stokes. No caso de ondas comuns, um pequeno volume de água é transportado um pouco no sentido de propagação da onda, um pouco no sentido contrário, junto à oscilação para cima e para baixo, em uma trajetória em forma de elipse (SILVEIRA, VARRIALE, 2005). Recomendamos a leitura do trabalho de Silveira e Varriale (2005) e de Santos e Barros (2008) que esclarecem bem estes assuntos.

Com base essencialmente nos trabalhos acima descritos, construímos o Quadro 1, em que sintetizamos as preconcepções identificadas.

Quadro 1 – Levantamento de concepções.

GRUPO	PRECONCEPÇÕES	REFERÊNCIAS
1 Conceito de onda, transporte de energia	- Ondas transportam matéria / Onda sonora transporta matéria (ar).	Gobara et al. (2007).
	- Deve haver um meio que transporte a onda. - Ondas não têm energia. - Quando uma onda se move, partículas se movem junto com ela, saindo do ponto de origem da onda e acompanhando sua direção de propagação. - A matéria se move com ondas na água.	Projeto 2061 ⁶ .
	- O meio no qual a onda se propaga é um conjunto de entes (partículas) individuais, independentes.	Bravo e Pesa (2005).
	- Onda como objeto bem localizado no espaço. Indicadores: “A onda vinda da antena entra nessa gaiola, mas não entra naquela”; “também não vai chegar onda nele?”; “porque a onda é maior que os furinhos que a gente não vê no papel alumínio, e não consegue passar e também porque ele é de metal.” / O pulso comporta-se como (ou é) um objeto que se move na corda.	Erthal e Linhares (2008). Morini (2009) Projeto 2061
2 Características das ondas – velocidade, frequência, amplitude, frentes de onda	- Todas as ondas viajam da mesma forma. - Frequência está ligada à intensidade para todas as amplitudes. - Raios e frentes de onda são a mesma coisa.	Projeto 2061,
	- Ondas grandes viajam mais rápido que ondas pequenas no mesmo meio. / Quanto maior a amplitude, maior a velocidade de propagação da onda.	Projeto 2061, Gobara et al. (2007).
	- A velocidade de propagação de um pulso é determinada pela força com que a mão agita a corda (“capital dinâmico entregue à corda”). - O pulso comporta-se como (ou é) um objeto que se move na corda.	Bravo e Pesa (2005).
	- Maior rapidez na geração de um pulso implica maior velocidade de propagação do mesmo.	Erthal e Linhares, (2008). Morini (2009). Projeto 2061,
3 Fenômenos ondulatórios	- Refração é a curvatura das ondas. - A onda é destruída quando atinge uma superfície sólida.	Projeto 2061,
	- Ondas não contornam obstáculos.	Silva e Souza (2014).

⁶ O Projeto 2061, do *American Association for the Advancement of Science (AAAS)*, tem como objetivo o desenvolvimento da educação científica. O grupo fez um levantamento de concepções em ondulatória. Decidimos incluí-lo aqui, pois algumas concepções dele são semelhantes a outras que identificamos na literatura nacional, e outras são semelhantes ao que percebemos na experiência em sala de aula com estudantes de ensino médio mas não apareceram no nosso levantamento na literatura nacional.

GRUPO	PRECONCEPÇÕES	REFERÊNCIAS
	<ul style="list-style-type: none"> - A cor é uma propriedade intrínseca aos objetos, independe da luz com a qual são iluminados. - Luzes coloridas contêm cores que podem se misturar com as cores dos objetos. 	Bravo e Pesa (2005).
	<ul style="list-style-type: none"> - Existe onda de calor e onda de frio. 	Gobara et al. (2007).
4 Ondas eletromagnéticas	<ul style="list-style-type: none"> - Raios gama, raios x, ultravioleta, luz visível, infravermelho, micro-ondas e ondas de rádio são tipos de ondas muito diferentes umas das outras. - Você vê e escuta um evento ao mesmo tempo. - Sons são carregados através dos fios dos telefones. 	Projeto 2061,
	<ul style="list-style-type: none"> - Enquanto alguns tipos de radiações, tais como as naturais e as usadas em aplicações médicas, são úteis, outras, como as irradiações e os resíduos nucleares, são perigosas. - Se objeto é exposto à radiação ionizante, ele se torna radioativo. - Radiação ionizante não é natural e é sempre perigosa. Há muitas fontes de produção de radiação ionizantes. Celulares, rádios, TVs, equipamentos eletrônicos, raios x para aplicações médicas são as mais comuns. 	Sesen (2010). ⁷
5 Luz	<ul style="list-style-type: none"> - Diferentes cores da luz são diferentes tipos de ondas. - Luz apenas é, não tem um início. - Ondas de luz e ondas de rádio não são do mesmo tipo. - Não há interação entre a luz e a matéria. - Na refração as características da luz mudam. - A velocidade da luz nunca muda. - A soma de todas as cores da luz resulta na cor preta. - Luz existe na crista e não existe no vale. - Na refração a cor da luz muda. - Luz não é considerada como algo que se move de um ponto a outro com velocidade finita. - A luz de uma lâmpada se estende até certa distância e então desaparece. - A luz sempre atravessa materiais transparentes sem mudar a direção do movimento. - Quando um objeto é visto através de um material transparente, ele é visto exatamente onde está. 	Projeto 2061,
	<ul style="list-style-type: none"> - Os raios de luz não precisam de sentido. 	Silva e Souza (2014).
	<ul style="list-style-type: none"> - Luz é energia. 	Silva e Souza (2014). Silva e Martins (2010).
	<ul style="list-style-type: none"> - Luz é algo presente em todo o ambiente. - Luz é uma propriedade do ambiente. 	Silva e Martins (2010).
6 Som	<ul style="list-style-type: none"> - A altura está relacionada à intensidade. - Sons podem ser produzidos sem o uso de qualquer objeto material. 	Projeto 2061,

⁷ Como encontramos poucas concepções sobre radiações ionizantes em revista nacionais, incluímos um artigo em revista internacional (SESEN, 2010)..

GRUPO	PRECONCEPÇÕES	REFERÊNCIAS
	<ul style="list-style-type: none"> - Acertar um objeto com mais força muda a altura do som produzido. - Os sons da voz humana são produzidos por um grande número de cordas vocais, que produzem diferentes sons. - Som pode viajar no vácuo. - Som não atravessa líquidos e sólidos. - Em instrumentos de sopro, é o instrumento que vibra para produzir o som (e não o ar dentro deles). - Música é uma forma de arte e não tem nenhuma relação com ciência. - Ondas sonoras são transversais, como ondas na água. - Ultrassons são sons de “volume” extremamente baixos. - Megafones criam sons. - Poluição sonora é irritante, mas inofensiva. 	
	<ul style="list-style-type: none"> - Som é uma substância que se propaga. 	Gobara et al. (2007).
	<ul style="list-style-type: none"> - Maior frequência implica maior intensidade (“volume”) do som. - Existem apenas oito notas musicais. 	Morini (2009).

As dificuldades apresentadas no Quadro 1 foram levadas em conta no desenvolvimento da sequência didática desenvolvida, como ficará claro no Capítulo 4.

2.3 Ondas e a Teoria dos Campos Conceituais

Dois dos trabalhos apresentados anteriormente sobre as concepções dos estudantes relacionados a ondas (BRAVO e PESA, 2005b; SILVA e SOUZA, 2014b) se embasam na Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, referencial teórico do presente trabalho. Por isso, retomamos a discussão desses artigos atentando sobre a relevância que a TCC teve no seu desenvolvimento. No final da seção apresentamos uma proposta de uso da TCC para orientar o planejamento didático (CARVALHO Jr. e AGUIAR Jr., 2008), pois ela serviu de inspiração para o nosso planejamento.

Bravo e Pesa (2005b), citadas anteriormente quanto às concepções dos estudantes sobre ondas, utilizaram a TCC como base teórica das suas pesquisas e concluíram que esse referencial teórico contribuiu na análise dos esquemas

apresentados pelos estudantes. As respostas dos estudantes eram muito dependentes do contexto da tarefa, e o referencial teórico permitiu inferir os motivos desta dependência. Foi possível também descrever com mais detalhes as dificuldades encontradas pelos estudantes na aprendizagem de conceitos relativos a ondas e mostrar que o uso de diferentes situações sequenciais auxilia o processo de aprendizagem.

Nos resultados, as autoras perceberam a dificuldade dos estudantes em associar esquemas⁸ aplicáveis a situações diferentes de forma correta. Elas também chamaram os esquemas de modelos de trabalho (são os modelos A, B e C que descrevemos na seção anterior). Também ficou evidente que uma mesma situação pode gerar invariantes operatórios diferentes⁹ (conceitos e regras de ação) – houve diferenças significativas no que cada estudante considerou relevante em dada situação. Outra conclusão foi que o entendimento do meio de propagação como fator determinante da velocidade é difícil de ser alcançado pelos estudantes em pouco tempo e com poucas situações. Por conseguinte, as autoras indicam fortemente a necessidade de se propor uma variedade de situações.

Também Silva e Souza (2014b), já citados, usam a TCC como referencial teórico de seus estudos e salientam a dificuldade em melhorar os invariantes operatórios (conceitos-em-ação e teoremas-em-ação) dos estudantes com poucas situações. As aulas para alunos do ensino médio foram preparadas com o objetivo de iniciar um curso de Óptica com o modelo ondulatório da luz, contrastando com a forma tradicional apresentada por muitos livros didáticos, que é começar o ensino de conteúdos relacionados à luz através da Óptica Geométrica. Para os autores, essa forma tradicional não é muito adequada, pois, em geral, os professores gastam demasiado tempo com os traçados geométricos envolvidos nos modelos de espelhos, prismas e lentes, restando pouco tempo para o tratamento do modelo ondulatório, que seria mais importante na formação científica básica de um cidadão. Houve evolução dos invariantes no decorrer das tarefas, mas seria necessário mais tempo no programa do curso para que os alunos tivessem contato com novas

⁸ Um esquema é uma organização da atividade do sujeito, que guia como ele lida com as situações. É um conceito fundamental da TCC (e tem o mesmo significado de esquema piagetiano), o discutimos no Capítulo 3.

⁹ Invariantes operatórios são conceitos fundamentais da TCC, a serem discutidos no Capítulo 3.

situações sobre os mesmos temas. Assim, seus invariantes se aproximariam mais do conhecimento científico.

Carvalho Jr. e Aguiar Jr. (2008) apresentam a proposta de utilizar a Teoria dos Campos Conceituais para o planejamento didático. A ideia central é diversificar as estratégias de ensino para alcançar maior aprendizagem. Eles desenvolveram uma sequência didática em Física Térmica composta por 24 aulas, em que foram realizadas discussões em grupo, atividades experimentais, atividades utilizando computador e leituras individuais. O interesse dos autores era investigar o desenvolvimento dos esquemas dos estudantes. Para isso, buscaram elementos que lhes permitiram visualizar a trajetória de aprendizagem dos alunos, aplicando, um pré-teste, dois testes e uma entrevista no fim do processo.

Os autores construíram um quadro com os dados coletados, dividido em quatro partes: um com os modelos de partida e três de modelos explicativos (I, II e III), dos estudantes. O quadro especifica quais estudantes apresentaram cada conceito ou regra de ação para que fossem visíveis as mudanças gradativas de cada um. Assim, quadro permite identificar a mudança dos modelos de trabalho dos estudantes ao longo do processo. Constata-se a aproximação dos conhecimentos científicos a partir dos conhecimentos que os estudantes já tinham.

Carvalho Jr. e Aguiar Jr. (2008) destacam a importância da teoria para o planejamento didático, visto que é preciso observar o sujeito-em-situação. É preciso acompanhar os estudantes enquanto aprendem, e elaborar estratégias para que isto ocorra. Uma sequência didática com uma única estratégia, a de exposição, dificulta o acompanhamento do aprendizado dos estudantes. Ainda que a aula seja expositivo-dialogada, o estímulo à participação dependerá muito de características pessoais do professor. Utilizar um conjunto diversificado de estratégias, por exemplo, pode trazer melhores resultados de aprendizagem. De fato, os autores concluem que a Teoria dos Campos Conceituais é uma ferramenta poderosa para a elaboração de sequências didáticas e que traz bons resultados na pesquisa em ensino de Física, pois dá suporte ao planejamento das atividades e também à análise dos resultados.

Nos trabalhos citados, fica evidente a importância de ajudar o aluno a confrontar seus esquemas a partir de situações-tarefa que dão sentido ao que se

estuda. Como os esquemas não podem ficar estagnados, novas situações também devem resgatar conhecimentos preexistentes. É o processo de desequilíbrio. O professor deve criar situações que estimulem o aluno a explicitar seus conceitos-em-ação e teoremas-em-ação (invariantes operatórios). Quando isso acontece, abre-se a possibilidade de ele comparar seus conceitos e teoremas com os científicos, de ele testar a validade dos seus invariantes nas situações a serem resolvidas. É nesse processo que ocorre a aprendizagem, que o campo conceitual se amplia e que os conceitos-em-ação e teoremas-em-ação aproximam-se progressivamente dos científicos (MOREIRA, 2002).

Para aprofundar essa discussão é indispensável apresentar os fundamentos da TCC, o que será feito no próximo capítulo.

3 TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS DE VERGNAUD

A Teoria dos Campos Conceituais (TCC), de Gérard Vergnaud, escolhida como referencial para este trabalho, originou-se nas pesquisas do autor na área da Matemática, especificamente na aprendizagem das estruturas aditivas e multiplicativas, mas não se restringe ao campo da Matemática. A TCC se propõe ao estudo do desenvolvimento cognitivo tomando como indispensável a análise da complexidade própria de cada conteúdo. É possível que essa teoria favoreça a investigação e melhor compreensão das dificuldades dos estudantes nas diversas áreas da Física, e que forneça subsídios para que a prática do professor possa de fato combater essas dificuldades. A maioria das pesquisas em ensino com a TCC é relativa à Matemática, contudo, há estudos no ensino de Ciências, e em particular de Física, que apontam sua viabilidade nestes campos (por ex., BRAVO e PESA, 2011; GRINGS, CABALLERO, MOREIRA, 2006; MOREIRA, 2002; SCHEFFLER, DEL PINO, 2013; CARVALHO JR., AGUIAR JR. 2008; BRANDÃO e VEIT, 2011). Neste capítulo, serão abordados os conceitos-chave da teoria com exemplos e particularidades no ensino de Física e no presente trabalho.

Eletricidade e Mecânica são exemplos de campos conceituais. Estes campos não são apenas conjuntos de conceitos na TCC. O conceito de campo conceitual é mais amplo:

Campo conceitual é (...) um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e, provavelmente, entrelaçados no processo de aquisição. (MOREIRA, 2002, apud VERGNAUD, 1982, p. 8).

O processo de aprendizagem em um campo conceitual ocorre no domínio gradativo de situações. Elas são a porta de entrada para o campo conceitual. São três as razões que conduziram Vergnaud a esta definição de campo conceitual (MOREIRA, 2002):

1. A aprendizagem de um conceito não ocorre somente com uma situação.
2. Uma situação não é resolvida com apenas um conceito.
3. O domínio de um campo conceitual é um processo longo, que necessita de diversas situações, e dura anos.

Os campos conceituais podem ser considerados unidades de estudo, cujo acesso só é possível através de situações (e não da apresentação de uma lista de conceitos e teoremas formalizados), pois são elas que dão sentido aos conceitos.

Fica evidente a importância do conceito de situação na TCC. Situação é uma tarefa, algo a ser resolvido. Caberá ao professor a escolha adequada das situações, já que existe uma forte dependência entre elas e os processos cognitivos usados consciente ou inconscientemente pelos sujeitos. Uma escolha inadequada dificultará a aprendizagem. Em Física, deve-se tomar o cuidado de não confundir situação com problemas de “lápiz e papel”, os problemas quantitativos comuns em livros didáticos. Um exemplo de situação pode ser: descobrir se haverá tempo suficiente para ir de uma cidade à outra com certa limitação de velocidade. Outro pode ser: investigar se é verdade ou não que ondas eletromagnéticas emitidas/recebidas por/de telefones celulares causam mal à saúde. Vergnaud aponta ainda dois aspectos das situações: a variedade - há muitas situações em um campo conceitual, e a história - o enfrentamento e o domínio progressivo das situações formam o conhecimento (VERGNAUD, 1993).

O centro da TCC é a conceitualização. Ela é o “âmago do desenvolvimento cognitivo” (MOREIRA, 2002). Mas “um conceito não pode ser reduzido à sua definição” (VERGNAUD, 1993). A simples apresentação da definição de um conceito não é suficiente para que um estudante o aprenda. O conceito é composto por três conjuntos: das situações que lhe dão sentido (S); dos invariantes operatórios, o significado do conceito (I); e das representações, os significantes do conceito (R). O primeiro conjunto está na realidade, o segundo e o terceiro estão no pensamento, são instrumentos de

conceitualização do real (FRANCHI, 1999). Este triplete SIR é essencial, um conceito fica incompleto se um desses elementos for negligenciado.

Os significantes são as representações simbólicas. Tais representações podem ser palavras, sentenças, gráficos, letras, figuras... Elas são ferramentas para apreensão da realidade. Além desse papel de mediação, elas organizam o pensamento e permitem a comunicação do conhecimento (FRANCHI, 1999).

Os invariantes operatórios estão nos esquemas dos sujeitos. O significado de esquema aqui é o piagetiano. As principais diferenças entre o trabalho de Vergnaud e o de Piaget são que Vergnaud amplia o conceito de esquema, considerando essencial analisar as especificidades de cada conteúdo, das quais dependem o desenvolvimento cognitivo; e o foco é no desenvolvimento do sujeito em situação (FRANCHI, 1999).

Um esquema é uma organização da atividade do sujeito. Essa organização é invariante no esquema. As operações (incluindo as de pensamento) que o sujeito realiza para resolver uma situação contêm os invariantes operatórios, classificados como conceitos-em-ação e teoremas-em-ação – são os “conhecimentos contidos nos esquemas” (MOREIRA, 2002). Invariantes não são fáceis de serem identificados, pois estão implícitos no fazer do sujeito, que, em geral, não consegue explicitá-los. Grings, Caballero e Moreira (2006) reuniram possíveis indicadores de invariantes operatórios no Campo Conceitual da Termodinâmica. Para identificá-los havia, por exemplo, a questão: “explique de que forma você relacionaria os conceitos de calor, energia interna e trabalho”, à qual um estudante respondeu: “quando alguém realiza algum trabalho, este corpo libera energia interna em forma de calor”. Os autores apontaram como possível invariante operatório a sentença: “na realização de trabalho, há liberação de calor”, que é um teorema-em-ação. É uma proposição (pode ser classificada como verdadeira ou falsa). Da mesma forma, conceitos-em-ação não são iguais a conceitos. Os conceitos-em-ação são funções proposicionais (não podem ser classificadas como verdadeiras ou falsas), são essenciais na construção das proposições e são implícitos (VERGNAUD, 1993).

Invariantes operatórios não são sinônimo de concepções prévias. Elas são identificadas mais facilmente do que os invariantes operatórios (GRINGS, CABALLERO, MOREIRA, 2006). Mas as concepções prévias podem dar origem a teoremas-em-ação e conceitos-em-ação, já que os esquemas são desenvolvidos para que o sujeito possa lidar com situações. E ele já se deparou com diversas delas fora do ambiente escolar. Os esquemas sempre produzem algum efeito, mas nem sempre resolvem a situação de maneira adequada do ponto de vista científico. Estão em constante competição no sujeito: aqueles que não são bons para resolver situações são trocados ou combinados com outros para dar origem a novos esquemas. Assim ocorre a adaptação das estruturas cognitivas, processo que Piaget chamou de assimilação e acomodação (VERGNAUD, 1993). A TCC se interessa pelo comportamento do sujeito em situação. Para favorecer o aumento do repertório de esquemas do sujeito, novas situações devem ser a ele apresentadas, mas elas não podem ser nem muito fáceis nem muito difíceis, devem ser adequadas ao repertório de esquemas que o sujeito tem disponível.

Atividades de ensino e aprendizagem, dentro da Teoria dos Campos Conceituais, são aquelas que objetivam tanto o saber fazer (forma operatória do conhecimento), como também o saber explicitar (forma predicativa). A conceitualização do real depende de representações para tornar conhecimentos explícitos, por isso a importância do triplo SIR na definição de conceito (VERGNAUD, 1996). Na TCC, as dificuldades para adquirir esses saberes são inerentes a cada conteúdo. É necessário conhecer as dificuldades próprias do estudo da Física. Uma opção é investigar as concepções prévias como uma das fontes de dificuldades.

Moreira (2002) salienta que, na TCC, concepções prévias não devem ser consideradas ideias erradas, mas o ponto de partida do desenvolvimento cognitivo do sujeito na direção dos conceitos e teoremas científicos. E o papel do professor é ser um guia, principalmente propondo situações novas, diversificadas, de nível adequado, que auxiliem a ampliação do repertório de esquemas dos estudantes. Entretanto, algumas concepções prévias podem se

tornar um obstáculo tão grande que será melhor abandoná-las, pois dificultarão a aquisição de esquemas adequados.

Um estudo apresentado por Barais e Vergnaud (1990) e citado por Moreira (2002) reúne outros indicativos de fontes de dificuldades no campo da Física:

- a) Os estudantes têm significados bem estabelecidos em suas estruturas cognitivas para muitos termos do cotidiano que também são utilizados em Física, e tendem a continuar usando esses significados para explicar situações envolvendo eventos físicos. Eles podem não ter ainda capacidade de distinguir esses significados. Mesmo de uma ciência para outra, e até mesmo no mesmo campo científico, o mesmo símbolo pode ter significados diferentes. Dentro da Física, o termo fusão tem significados diferentes quando se trata de mudanças de estado físico ou de interações nucleares.
- b) As respostas de estudantes quando perguntados sobre fenômenos físicos baseiam-se fortemente nas características perceptíveis pelo sistema sensorial, como mudança de cor, surgimento de bolhas, alteração do cheiro, emissão de som... As explicações envolvem apenas funções e propriedades, não há preocupação com simetria nas interações e há uma obrigatoriedade de sequência temporal. Essas não são características da investigação científica dos eventos, mas é como os estudantes dão os primeiros passos para tentar entendê-los. Essas formas de observar fenômenos, geralmente levam a formação de esquemas inadequados.
- c) O que é visualmente perceptível tem papel predominante na construção dos conhecimentos.

- d) Algumas situações apresentadas em aulas de Física podem ser totalmente novas para os estudantes e por isso eles ainda não sabem lidar com elas, ainda não possuem esquemas para elas. Ou ainda, as entidades envolvidas na situação assumem valores muito incomuns para os estudantes e isto pode tornar seus esquemas inválidos para a situação.

- e) Os modelos científicos são construídos com grandezas que não dependem de ser sensorialmente perceptíveis. Talvez elas não pareçam tão relevantes para os estudantes, visto que a percepção sensorial, especialmente a visual, é preponderante no desenvolvimento dos seus esquemas.

- f) Tão importante quanto saber representar as entidades físicas e suas relações, é a capacidade de distinguir os conceitos a elas relacionados. Barais e Vergnaud (1990) afirmam que esta dificuldade é comum aos campos da Física e da Matemática. Saber representar não é compreender o significado. “Não se pode, pois, reduzir o significado aos significantes nem as situações” (VERGNAUD, 1990, p. 146).

As dificuldades acima compiladas trazem problemas quanto à representação, simbolização, e também a distinção entre a representação e o significado – itens essenciais no processo de conceitualização. A TCC é uma teoria sobre a conceitualização do real na qual as especificidades da área de estudo constituem um dos determinantes do desenvolvimento cognitivo. Ela pode ser utilizada como referencial em ensino de Ciências, conforme trabalhos aqui citados. Depois de escolhido um campo conceitual, cabe ao professor o papel de mediador, um guia que minuciosamente seleciona as situações para dar sentido aos conceitos, com o objetivo de reduzir as diferenças entre os

conceitos-em-ação e teoremas-em-ação dos estudantes e os conceitos e teoremas científicos.

Uma das premissas da TCC é não reduzir a aprendizagem nos diferentes campos conceituais a regras lógicas gerais – as características de cada conteúdo são determinantes no processo do desenvolvimento cognitivo. É essencial reunir conhecimento sobre as fontes de dificuldades específicas da Física. Assim, antes da escolha das situações e do planejamento das aulas da sequência didática desenvolvida, foi construído o Quadro 1, para organizar as concepções prévias em ondulatória, que é o campo conceitual da nossa sequência didática. A seção sobre concepções prévias em ondas nos Estudos Relacionados (Capítulo 2) nos forneceu indicativos não só das concepções dos estudantes, mas também de dificuldades percebidas pelos professores no relato de suas experiências, tanto dos estudantes como deles próprios. Por exemplo, reconhecer que a tensão na corda é um dos fatores determinantes da velocidade de propagação de um pulso na corda não foi suficiente para fazer a mesma relação no caso do pulso longitudinal se propagando na mola tensionada.

Outra característica da TCC implementada neste trabalho é a escolha das situações enfrentadas pelo alunos (Quadro 2, no Capítulo 4, de Metodologia). As aulas foram concebidas para ajudar a resolver situações, de modo que os conceitos vão ganhando significado progressivamente. Ainda que, como alerta Moreira (2002), a aprendizagem ocorra com avanços e retrocessos. Ademais, os testes conceituais selecionados requeriam conceitos estudados em aulas anteriores. O processo de rever os conceitos é imprescindível para a construção dos esquemas, que é gradativa.

Finalmente, enfatizamos a adequação dos métodos adotados neste trabalho com as ideias fundamentais da TCC. A integração do Ensino sob Medida com o Instrução pelos Colegas oferece mais de uma forma de *feedback* para o professor antes das avaliações institucionais, o que pode auxiliar o acompanhamento da evolução dos esquemas dos estudantes, ainda que as respostas dos estudantes sejam indicativos das mudanças conceituais. Outro ponto relevante é a interação social nas atividades propostas (como o

IpC) e a interação sujeito-situação, que vem ao encontro de uma herança de Vygotsky no trabalho de Vergnaud – ele considera esta interação como essencial no processo de representação da realidade, de construção do conceito (MOREIRA, 2002). Também a interação entre os estudantes é privilegiada nessa metodologia, já que o aspecto central do IpC é o diálogo entre os pares.

O IpC provoca a explicitação de proposições e explicações, que podem constituir-se em teoremas-em-ação e conter conceitos-em-ação. Na comparação, na testagem e na busca pela resposta correta, o estudante reestrutura seus esquemas, cria novos. Mesmo quando já havia escolhido a resposta correta, mas não sabia bem o motivo, ele melhora a qualidade de seu esquema. E pode lidar melhor com outras situações.

O EsM também pode auxiliar a explicitação de conhecimentos – as Tarefas de Leitura fazem esse papel na forma escrita, mas fora da sala de aula e com tempo extra para que o aluno releia e consiga esclarecer melhor os conceitos e teoremas formados por ele. Depois, em aula, haverá possibilidades de desequilíbrio, pois os assuntos das Tarefas de Leitura são retomados. O uso integrado dos métodos IpC e EsM, conforme sugere a literatura, auxilia o professor na escolha de situações e na forma de guiar as aulas para haver desequilíbrio dos esquemas dos alunos.

No próximo capítulo explicitamos a Metodologia do presente trabalho, tanto no que diz respeito ao material elaborado quanto de sua aplicação.

4 METODOLOGIA

4.1 Contexto

A sequência didática elaborada foi aplicada em um colégio pertence à rede privada de ensino na cidade de Joaçaba, Santa Catarina. Essa instituição atende, aproximadamente, 300 alunos, desde o sexto ano do Ensino Fundamental até o terceiro ano do Ensino Médio. Ela localiza-se no centro da cidade. Grande parte dos estudantes vem de outras cidades (Campos Novos, Catanduvas, Herval d'Oeste, Luzerna). O nível socioeconômico é variado, mas na maioria médio e alto. Há alunos bolsistas. Os alunos dessa escola participam muito de eventos tanto artísticos quanto esportivos, o que é muito incentivado pela instituição. Há duas quadras cobertas, uma sala de artes, um teatro e uma sala de música. Um dos professores de artes é músico, e a música é um traço marcante da escola. Não há problemas graves disciplinares, o ambiente é tranquilo e de boa convivência. Há turmas numerosas. O primeiro ano e o terceiro tinham um pouco mais de 50 alunos cada. Já os alunos do segundo ano ficaram em duas turmas, pois perfazem um total de 61 alunos. A escola não possui laboratório de ciências nem sala de informática. As aulas de Física ocorrem em sala com um projetor multimídia instalado próximo ao teto e o quadro branco possui uma parte maior, própria para as projeções (é possível escrever na área de projeção). A maioria das salas possui aparelho com função de ar condicionado e aquecedor.

As duas turmas do segundo ano, uma com 30 alunos e outra com 31 alunos, participaram da experiência didática apresentada neste trabalho. As turmas tinham aulas no período matutino e um dia por semana, às quartas-feiras, aula também à tarde, até as 17h. Para a Física eram dedicadas três aulas por semana, em três encontros separados, ou seja, sem aulas geminadas. Cada aula tem duração de 45 minutos. O primeiro e o segundo ano tinham quatro aulas de Física por semana. O nono ano do Ensino Fundamental tinha duas aulas de Física por semana (com a professora de Física, autora deste trabalho) e duas de Química (com professor de Química).

4.2 O planejamento das Aulas

A aplicação conjunta dos métodos IpC e EsM tem apresentado resultados promissores, mas dada a realidade do ensino de Física brasileiro no nível médio, ajustes e adaptações são necessários antes da aplicação em aula. Como não houve possibilidade de os alunos terem um mínimo de dois dias antes de cada aula para a Tarefa de Leitura do EsM (Apêndice A), optou-se por uma Tarefa de Leitura por semana, tratando dos conteúdos das três aulas da semana, mesmo que de forma parcial. Os conteúdos das aulas estão organizados a partir de situações, sendo os conceitos já estudados revistos em situações posteriores. Deixamos aberta a possibilidade de alterar as situações durante a aplicação, tal a sua importância em dar sentido aos conceitos e estimular a formação ou alteração de esquemas por parte dos estudantes.

Tomando como pressupostos a necessidade de participação ativa dos alunos e a diversificação das atividades como possibilidades de melhorias na aprendizagem, preparamos aulas com o IpC, montagem de um espectrômetro, realização de um debate e aulas de resolução de problemas em duplas ou trios. O Quadro 2 organiza as etapas/atividades de acordo com cada aula e situação correspondente.

A avaliação de nossa proposta de ensino foi feita de forma qualitativa. Coletamos textos dos alunos (sejam escritos em tarefas ou testes, sejam ditos em sala de aula durante incursões com o IpC, por exemplo, ou mesmo gravados no debate) para obter indicadores de viabilidade da aplicação dos métodos de ensino, da receptividade dos métodos por parte dos estudantes, além de suas sugestões e críticas. O Opinário, cujo modelo está no Apêndice E, também nos forneceu esses tipos de indicadores. Quanto à avaliação da aprendizagem, foram utilizados os testes conceituais, as listas de problemas quantitativos (Apêndices B e C, respectivamente), os minirrelatórios produzidos sobre a experiência com o espectrógrafo e os argumentos utilizados no debate. O interesse foi concentrado em analisar a qualidade das respostas e a evolução das explicações e das conclusões tomadas pelos estudantes, tendo em vista suas explicitações durante as aulas, nas Tarefas de Leitura, na resolução de problemas e na elaboração do minirrelatório.

Quadro 2 – Organização das etapas da sequência didática.

Situação	Conceitos	Aula	Metodologia utilizada na aula	Tarefa de Leitura
Por que os tsunamis* (exemplos recentes: Japão, 11 de março de 2011 e Indonésia, 26 de dezembro de 2004) são chamados de ondas gigantes se não são sempre ondas “altas” como as que os surfistas buscam para recordes de surfar na maior onda?	Comprimento de onda, velocidade de propagação, amplitude, crista, vale.	1 (17/05)	Comentários das respostas à TL1. Aplicação do IpC.	TL1 (para as aulas 1 a 3)
		2 (18/05:)	Aplicação do IpC.	
		3 (19/05)	Aplicação do IpC.	
	Transporte de energia. Frequência e período. Dependência entre velocidade de propagação e meio de propagação. Equação $v=\lambda f$.	4 (24/05)	Comentários das respostas à TL2. Aplicação do IpC.	TL2 (para as aulas 4 a 6)
		5 (25/05)	Atividade de resolução de problemas em duplas.	
		6 (01/06:)	Aplicação do IpC.	
Como a voz de outra pessoa em um local distante chega tão rápido ao meu celular?	Classificações: longitudinal/transversal, mecânica/eletromagnética. Espectro eletromagnético, espectro sonoro.	7 (07/06)	Comentários das respostas à TL3. Aplicação do IpC.	TL3 (para as aulas 7 a 9)
		8 (08/06)	Comentários das respostas à TL3. Aplicação do IpC.	
		9 (09/06)	Aplicação do IpC.	
Qualquer fonte de luz apresenta as mesmas cores que a luz do Sol?	Luz como onda. Espectro visível. Espectro de emissão do Sol.	10 (14/06)	Comentários das respostas à TL4. Breve exposição oral. Construção de espectrógrafo com caixa de cereal e cd.	TL4 (para as aulas 10 a 12)
		11 (15/06)	Término da confecção do espectrógrafo. Observação e registro de espectros de fontes diferentes.	
		12 (16/06)	Trabalho em grupo: organização dos registros (fotos) e análise dos registros. Cada grupo escreve um pequeno relatório.	
Ultrassonografia – como funciona? Os	Reflexão e refração de	13 (21/06)	Comentários das respostas à TL5.	TL5 (para as aulas 13

<i>tsunami</i> sofrem que alterações ao se aproximar da costa?	ondas.		Aplicação do IpC.	a 15)
		14 (22/06)	Retomar TL5. Atividade de resolução de problemas em duplas.	
		15 (23/06)	Aplicação do IpC.	
Radiações ionizantes: quais os riscos à saúde humana?	Radiação ultravioleta e radiação gama, frequência, energia, riscos à saúde, diferença entre contaminação e irradiação.	16 (04/07)	Apresentação do trabalho, formação dos grupos e divisão dos temas. Breve exposição sobre radiações ionizantes.	
		17 (05/07)	Grupos organizam a apresentação e discutem os textos.	
		18 (06/07)		
		19 (12/07)	Realização dos debates (Uso de câmara de bronzeamento artificial e instalação de usina nuclear).	
		20 (13/07)		
		21 (14/07)		

Espera-se, assim, contribuir para o ensino de Física descrevendo uma aplicação em turma regular de ensino médio com nova metodologia, objetivando estimular o envolvimento cognitivo e emocional dos estudantes durante as aulas. Trazer a análise dessa experiência tanto para o ambiente acadêmico quanto ao conhecimento de professores atuantes na educação básica pode acrescentar elementos para as discussões acerca das mudanças que se fazem tão necessárias no ensino de física atual.

4.3 Material desenvolvido

Aqui são apresentados os materiais desenvolvidos para aplicação desta sequência didática além de outros para auxílio ao professor. São eles: as Tarefas de Leitura (com textos de apoio para os estudantes, no Apêndice A), os Testes Conceituais (no Apêndice B), as listas de Problemas Quantitativos (no Apêndice C), o Modelo de minirrelatório (no Apêndice D) e um Opiniário (no

Apêndice E). Esses materiais serão compilados em um texto eletrônico, para divulgação.

4.3.1 Textos de Apoio e Tarefas de Leitura (TL)

As TL são formadas por um texto de apoio ao aluno e uma Tarefa de Leitura, contendo algumas questões que o aluno deve ser capaz de responder depois de estudar esse texto. Os textos vêm acompanhados de imagens e indicações de vídeos para auxiliar o entendimento dos conceitos. O objetivo da TL é que o aluno estude o assunto antes da aula e que o professor possa identificar, também antes da aula, quais conceitos foram mais difíceis de serem compreendidos. Portanto, o professor prepara a aula de acordo com as dificuldades específicas daquele grupo de estudantes. Isto é o Ensino sob Medida.

Os textos que produzimos têm até três páginas cada, e as tarefas têm três questões cada. A TL era entregue aos estudantes na quinta-feira ou na sexta-feira, e eles a devolviam respondida na segunda-feira mais próxima. As aulas da semana eram ajustadas de acordo com as dificuldades apresentadas. As TL foram entregues em cópias físicas, mas também disponibilizadas em pdf através dos grupos das turmas em uma rede social na internet. Isto facilitava o acesso aos vídeos citados nas TL para auxiliar a compreensão de um conceito ou de um fenômeno. Em algumas TL, indicamos uma parte do texto do livro didático adotado pelo colégio, para complementar os estudos. Dessa forma, o papel do aluno é mais ativo, pois ele tenta compreender o assunto antes da aula e responde questões, não para ser avaliado com uma “nota” por quantidade de acertos, mas para informar o professor que ele realizou a atividade proposta, que leu o texto e para mostrar as dificuldades encontradas. Recomenda-se que o professor avalie o estudante pela participação e pela dedicação, observando a coerência das respostas e valorizando as dúvidas, para estimular a leitura com aprofundamento no assunto e desestimular que um aluno tente copiar respostas do outro.

Uma excelente ferramenta para receber as respostas, se o professor optar pelo envio do material virtualmente, são os Formulários *Google*. Além de receber todas as respostas em um relatório, organizados em uma tabela, o

professor pode acessar estatísticas sobre as respostas, geradas automaticamente pelo programa. A ferramenta é gratuita, basta criar uma conta vinculada ao *Google*. A opção *Formulários Google* aparece no *Google Drive*.

Optamos pelo material físico pois foi uma preferência que os alunos especificamente dessas turmas demonstraram quando fizeram uma tarefa usando os *Formulários Google*. Não investigamos o motivo dessa preferência; pode ser que alguns estudantes de cidades do interior, que se deslocam para a cidade do colégio, tiveram alguma dificuldade com acesso à *internet*. Havia estudantes moradores de área rural nessas turmas. Optamos por fazer um modelo só de tarefa (só física ou só virtual).

Os textos de apoio redigidos e as respectivas TL produzidas neste trabalho, TL01 a TL05, estão no Apêndice A.

4.3.2 Testes Conceituais (TC)

A aplicação do IpC requer tempo de discussão entre os estudantes. Como o período de cada aula era de 45 minutos, às vezes menos, devido à realização de provas em aula anterior, usamos no máximo três TC por aula. Contudo, desenvolvemos uma quantidade maior de TCs, para ajustar as aulas conforme fosse necessário, de acordo com as respostas recebidas nas TLs. Pudemos escolher os TC para que houvesse mais discussões e argumentação entre eles sobre os conceitos que foram de mais difícil compreensão. Outra vantagem de se ter uma quantidade extra de TC, é que, caso uma questão seja inadequada (por exemplo, fácil demais, ou com alguma ambiguidade) e isto não tenha sido detectado antes, pode-se usar outro TC para trabalhar o mesmo conceito. Além disso, como as TL vão mostrar dificuldades específicas de cada turma, em geral, um determinado TC pode ser adequado para uma turma e inadequado para outra.

Percebemos que é preciso treinamento para elaborar TC adequados. A princípio pode parecer uma tarefa fácil, mas os TC não são iguais a outras questões que comumente aparecem em livros ou em listas de exercícios de

física. Mazur (1997) elenca características frequentes de bons testes conceituais. Assim, um TC adequado deve:

- Abordar apenas um conceito;
- Ter alternativas adequadas;
- Não ser respondido com simples memorização;
- Não ser respondido com simples substituição em fórmulas;
- Não ser nem muito fácil nem muito difícil, e
- Não deve conter expressões de sentido ambíguo.

Algumas questões de livros didáticos e mesmo de concurso vestibular podem preencher esses requisitos. Criamos a maioria dos TC, outros adaptamos de livros didáticos e de concursos vestibular. Usamos apenas um sem modificar o texto, mas retiramos uma alternativa, pois o sistema de votação escolhido permite apenas quatro alternativas.

O professor precisa ter o cuidado de ler o TC de forma clara ao apresentá-lo. E, na nossa experiência, em quase todos os TC que utilizamos, foi necessário pedir que os estudantes não conversassem antes da primeira votação, apesar de isso ter sido explicado antes da aplicação da sequência didática.

O método de votação utilizado neste trabalho foi o aplicativo gratuito *Plickers*¹⁰. O aplicativo usa a câmera do celular para registrar as respostas através da leitura de cartões com códigos, à distância, fornecendo ao professor os resultados de forma prática, no celular ou no *tablet*, no momento da aula.

O conjunto dos TC desenvolvidos está no Apêndice B. São 51 ao todo. Eles estão identificados pelo número da aula seguido do número do TC *daquela* aula. Por exemplo, “TC2.4” significa teste conceitual nº 4 da aula 2. Como já mencionamos, não utilizamos todos os testes desenvolvidos. E resolvemos deixar os números originais dos TC ao escrever este trabalho, embora alguns números da sequência faltem, para que a numeração no

¹⁰ <https://plickers.com/>

conjunto total de TC coincida com a numeração dos testes que utilizamos e que relatamos no próximo capítulo. O “TC2.5” não existe no material aqui disponibilizado, por exemplo.

Disponibilizamos todos os testes conceituais desenvolvidos em nosso produto educacional para que o professor que usar este material possa também escolher os testes mais adequados para cada turma.

4.3.3 Problemas quantitativos (P)

Foram três aulas de resolução de problemas – as aulas 5, 8 e 14. Os problemas também estão identificados com o número da aula seguido do número que ordena o problema *daquela* aula (exemplo: “P14.3” significa problema de nº 3 da aula 14). Os alunos ficavam em pequenos grupos e resolviam as questões com apoio da professora, que circulava e observava, interferindo se julgasse necessário. Também houve momentos em que foi preciso fazer uma breve explanação ou algum cálculo de exemplo no quadro para toda a turma.

Referimo-nos a eles como problemas quantitativos, pois a maioria era quantitativa realmente, mas o leitor verá que há perguntas sobre conceitos também. Fornecemos para os alunos gabarito das questões numéricas, apenas a resposta final, para que identificassem se estavam acertando e que pudessem, juntos, corrigir quando estavam errando. Depois do término das resoluções, fornecemos o gabarito completo e deixamos que os estudantes perguntassem novamente. Algumas questões resolvemos no quadro. Não foi necessário fazer todas, algumas os alunos acertaram facilmente. Os problemas (P) estão no Apêndice C. Todos os selecionados (ou desenvolvidos) foram utilizados. São 21 ao todo.

4.4 Sugestões de Recursos para as Aulas

O IpC é um método que fornece ao professor um *feedback* no momento da aula. Assim, dependendo das dificuldades que os estudantes tiverem para compreender determinado conceito, é interessante que o professor tenha “à

mão” diversos recursos. Ele pode variar os elementos da sua minixposição ou complementar melhor os comentários às alternativas de um Teste Conceitual, por exemplo. Araujo e Mazur (2013) fazem essa sugestão, como uma “reserva estratégica de recursos” (p. 375).

Portanto, após a leitura das TL, complementávamos o planejamento das aulas com material voltado a auxiliar a compreensão nos pontos em que os alunos tiveram mais dificuldades. Pensando ainda no levantamento de preconceções, selecionamos recursos extras para eventuais dúvidas que poderiam surgir nas aulas mas que não ficaram explícitas nas respostas das TL.

Outro recurso muito útil para aulas de Física são as simulações computacionais. Utilizamos algumas das simulações gratuitas da página PheT, da Universidade do Colorado, e uma do Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento no Ensino de Matemática e das Ciências (LIMC) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). O Quadro 3 contém a lista de simulações e os endereços para baixar ou rodar diretamente no navegador. Para as simulações da página PheT, é necessário ter o programa Java atualizado (o Java também é gratuito e a página PheT já faz o direcionamento caso o usuário precise). Todas as simulações indicadas no Quadro 3 são gratuitas.

Quadro 3 – lista de simulações utilizadas na realização desta sequência didática.

Simulação	Endereço	Conceitos sugeridos
Onda em corda	https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/wave-on-a-string	Amplitude, comprimento de onda, crista, vale, frequência, velocidade de propagação, dependência entre velocidade e meio de propagação, onda transversal. Reflexão de pulsos em obstáculo fixo e em obstáculo móvel. Interferência ¹¹ . Superposição.
Som	https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/sound	Frequência e altura do som, amplitude.
Interferência de ondas	https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/wave-interference	Interferência construtiva, interferência destrutiva, superposição, reflexão de

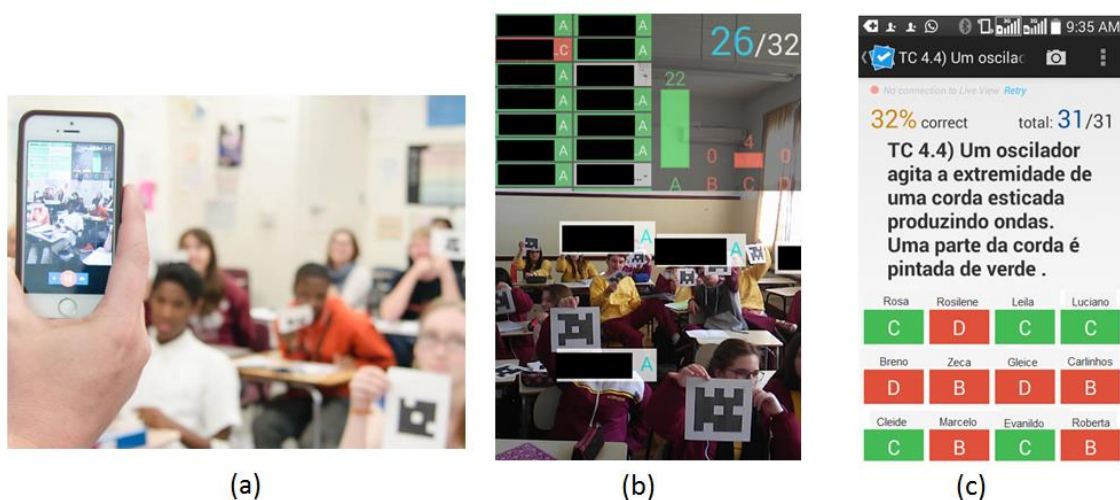
¹¹ O fenômeno interferência não foi abordado na nossa sequência didática. Indicamos no Quadro 3 conceitos como superposição e os tipos de interferência apenas como informação extra, como possibilidades oferecidas pelos simuladores.

		ondas sonoras.
Desvio da luz	https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/bending-light	Refração, reflexão, alteração no comprimento de onda, relação entre frequência e cor.
Diapásão e som	http://www.if.ufrj.br/~marta/aplicativos/diapasao.swf	Onda longitudinal, amplitude, compressão e rarefação.

4.5 O método de votação: *Plickers*

O aplicativo que utilizamos como ferramenta para as votações do IpC, o *Plickers*, é um aplicativo de leitura de códigos semelhantes a *QR codes*. Os estudantes mostram o código de sua resposta e o aplicativo os lê com a câmera e contabiliza os resultados, fornecendo automaticamente a porcentagem de acerto. O custo financeiro é unicamente o de impressão das folhas com os códigos. Um mesmo conjunto de códigos pode ser utilizado para várias turmas. A Figura 2 mostra em (a) um momento de votação, com imagem extraída da página oficial do aplicativo; em (b) o que o professor visualiza no seu dispositivo, enquanto a votação acontece – a contagem, os nomes dos alunos (ocultamos os nomes) e a resposta de cada um; em (c) o relatório do fim da votação (colocamos nomes fictícios) – no final do relatório há um gráfico com as contagens totais das respostas, como em (b).

Figura 2 – (a) professor faz a leitura dos cartões com QR-codes, (b) visualização do que aparece na tela do smartphone durante a votação; (c) visualização do que aparece na tela do dispositivo quando a votação é encerrada.



(a)

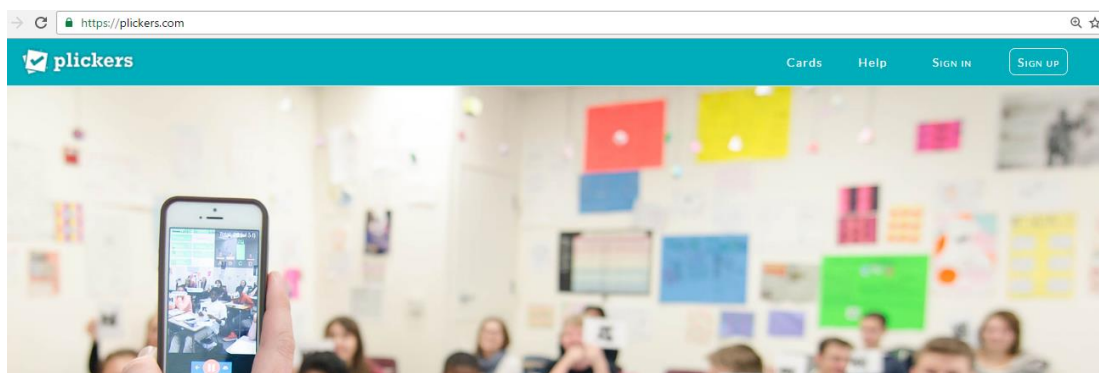
(b)

(c)

Fonte: (a) página inicial do Plickers, (b) e (c): a autora.

Como utilizar o esse método? O professor acessa a página do *Plickers* (<https://plickers.com/>) e faz o registro de sua conta em “*Sign up*” no canto superior direito da página inicial, mostrada na Figura 3. A página está em inglês, contudo consideramos que as indicações que faremos são suficientes para usar o aplicativo.

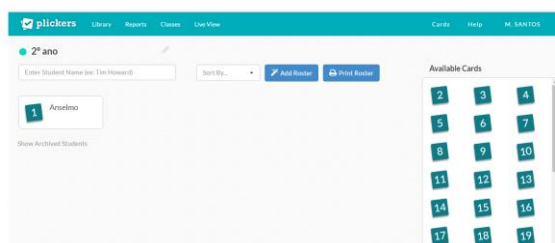
Figura 3 – imagem da página inicial *Plickers*.



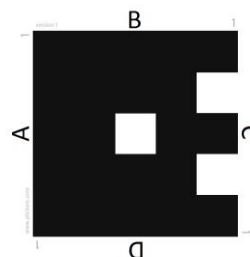
Fonte: página inicial do *Plickers*.

Depois de fazer a conta, é preciso cadastrar a turma em “*Classes*” e “*New class*”. Digita-se o nome de um aluno por cartão. O máximo é de 63 cartões. A Figura 4 mostra a página de cadastro dos alunos da turma (a) e um exemplo da cartela com o código; (b) Em cada um dos quatro lados do cartão estão as letras A, B, C e D (as letras foram aumentadas na nossa figura, no original as letras são pequenas para que os estudantes não vejam as respostas uns dos outros). O estudante deixa virada para cima a letra correspondente à alternativa que ele escolher como resposta.

Figura 4 – (a) cadastro dos nomes dos alunos nos números dos cartões; (b) o cartão n°1 do conjunto.



(a)

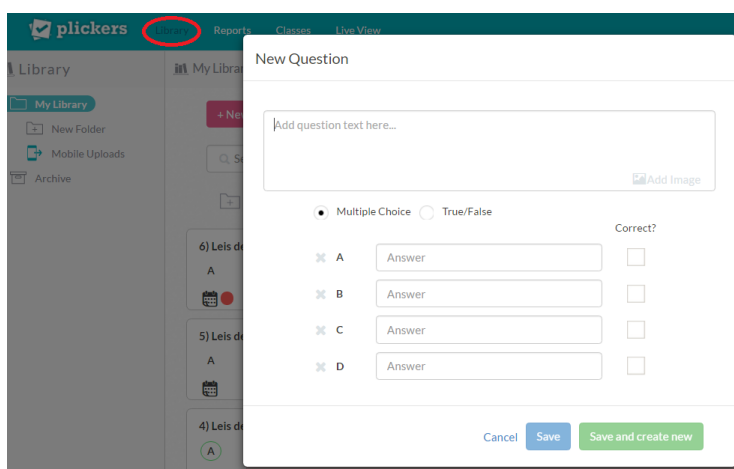


(b)

Fonte: página do *Plickers*.

Ainda na página do Plickers, em “*Library*” (ver Figura 5), seleciona-se “*New question*” para criar uma questão que pode ser de múltipla escolha ou de verdadeiro ou falso. No nosso caso, dos Testes Conceituais, fizemos questões de múltipla escolha com quatro alternativas. Deve-se marcar qual é a alternativa correta, para que o aplicativo indique a porcentagem de respostas corretas nas votações. Após salvar a questão, deve-se selecionar em qual turma ela será usada (pode ser mais de uma turma por questão).

Figura 5 – cadastrando uma questão.



Fonte: página do Plickers.

Com a conta criada, turma e questões cadastradas, bastará imprimir os cartões e baixar o aplicativo no dispositivo que o professor preferir. O aplicativo pode ser facilmente encontrado na página *Google Play (Android)* ou *AppStore (iOS)*, por exemplo. Para imprimir os cartões, seleciona-se a opção “*Cards*” na parte superior da página do *Plickers*. É possível escolher qual o melhor formato e quantidade de cartões e baixar o arquivo *pdf* para impressão. Recomenda-se uma boa qualidade de impressão para não prejudicar a leitura dos códigos com a câmera. Não é preciso que o professor aproxime o dispositivo de cada cartão, o aplicativo faz a leitura à distância, em poucos segundos. O professor deve orientar os alunos a segurar o cartão bem esticado, preferencialmente pela parte de cima, e não colocar os dedos sobre o código, nem mesmo tocando na borda do código, pois a leitura não será feita.

No momento da votação, o professor pode conferir no seu dispositivo se todos votaram. Não é necessário ter conexão com a internet para isso. O

aplicativo funciona *off-line*. Assim que encontra conexão, envia o relatório de respostas para o histórico de questões na conta do professor, na página do *Plickers*. Também é possível acessar o histórico pelo aplicativo no *smartphone* ou *tablet*.

Uma ótima opção é usar a função “*Live view*” em um *notebook* conectado ao projetor multimídia. A questão é projetada ao lado da lista com os nomes dos alunos que vão sendo marcados à medida que votam. Para essa funcionalidade é necessária conexão com a internet.

Consideramos que esse método de votação foi extremamente útil e atendeu todas as nossas demandas. Mas também listaremos outras possibilidades.

No capítulo dos Estudos Relacionados, trouxemos possibilidades de métodos de votação para o IpC. Os *flashcards* e os *clickers* são os mais utilizados nos estudos do nosso levantamento. Também relatamos uma experiência com *laptops* e o aplicativo *Google Formulários*, do pacote *Google Drive*. Mas não é essencial ter um recurso desses para utilizar o IpC. A votação pode ser feita até mesmo com um simples mostrar de mãos, com os números de um a cinco para as alternativas, por exemplo.

Reiteramos que o essencial no IpC é o momento de discussão sobre as alternativas. Não basta ter o momento de votação. A contagem das respostas é importante para que o professor decida quando a discussão é necessária (e os Testes Conceituais devem ser elaborados para que haja discussão).

4.6 Opiniário – avaliação da aplicação

Elaboramos um questionário para que os alunos opinassem sobre a aplicação e sobre como foi a experiência de aprendizado com a metodologia proposta. O questionário encontra-se no Apêndice E. As perguntas são direcionadas à avaliação dos alunos sobre a aplicação da metodologia em geral, cada método IpC e EsM separadamente, a experiência de aprendizagem, o método de votação, as aulas de resolução de problemas e o

nível de dificuldade dos mesmos. Também houve espaço para que eles sugerissem formas de melhorar a aplicação ou a metodologia.

5 A APLICAÇÃO

Neste capítulo é apresentada a descrição da aplicação da nossa sequência didática, que foi realizada com duas turmas de segundo ano do Ensino Médio, com estudantes de idades entre 15 e 17 anos. Essas atividades tiveram início em 16 de maio de 2016 e terminaram em 14 de julho de 2016. Dentro desse período, houve uma semana de pausa devido ao calendário de provas estabelecido pela direção da escola. Assim, tivemos um total de 21 aulas de aplicação da metodologia aqui proposta.

A aplicação encerrou-se com o debate previsto no projeto, mas foi estendido o tempo para os alunos pesquisarem e se prepararem, conforme será detalhado mais adiante. No fim, os estudantes responderam ao questionário de opinião sobre a metodologia, constante no Apêndice E.

A aplicação aconteceu com a seguinte distribuição: nove aulas utilizando IpC e EsM combinados, três aulas para confecção de experimento e análise qualitativa dos resultados (com minirrelatório), duas aulas para resolução de problemas em duplas e seis aulas de debate (incluindo pesquisa e preparação dos grupos).

Separamos o relato em blocos, cada bloco está ligado a uma das situações do Quadro 2.

5.1 Relato das aulas 1 a 6 (situação envolvendo *tsunami*)

No dia 12 de maio, antes da Aula 1, foi entregue a primeira TL, com os assuntos a serem estudados na primeira semana. Explicamos que a tarefa faria parte da avaliação, mas como participação e não com quantidade de acertos, pois o objetivo era identificar as dificuldades que surgiram em relação a esses assuntos. O texto também indicaria vídeos disponíveis na página do *YouTube*, além de outras páginas da internet que pudessem ajudar a compreensão de conceitos. Explicamos também que seria aplicada uma nova metodologia nas aulas seguintes, com o tema Ondas.

Na segunda-feira (16 de maio), os estudantes das duas turmas entregaram as TL respondidas, as respostas foram organizadas em uma tabela

contendo as respostas e as dificuldades dos alunos. A preparação das aulas da semana sofreu alterações de acordo com as dificuldades identificadas (exemplos: acrescentando algum vídeo que permitisse a melhor visualização de um fenômeno, ou prevendo mais tempo para explicação de algum conceito que foi mais difícil de compreender).

O texto da TL1 abordou os conceitos: amplitude, comprimento de onda, crista, vale, alongação e velocidade de propagação. O material da TL também recomenda a leitura do texto do livro didático sobre esses conceitos (uma página)¹².

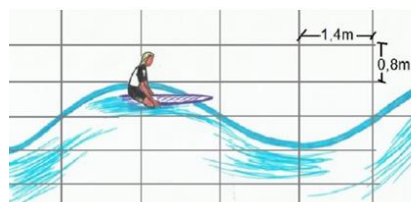
As perguntas que os alunos responderam nessa tarefa estão transcritas a seguir. A TL1 completa está no Apêndice A.

Questão 1

Observe a figura e responda:

a) Quanto vale a amplitude da onda? _____

b) Quanto vale o comprimento de onda? _____



Questão 2

Joana agita uma corda produzindo uma onda periódica. Se ela aumentar a rapidez com que agita a extremidade da corda, a onda chegará mais rapidamente à outra extremidade, isto é, terá maior velocidade de propagação? Justifique.

A “figura 8.9” indicada na questão 3 da TL1 está reproduzida na Figura 6 deste trabalho.

Questão 3

Considere a situação representada na Figura 8.9 na página 236¹³. Numere a segunda coluna de acordo com a primeira. Um espaço entre parêntesis da segunda coluna ficará em branco, pois não tem correspondente na primeira coluna.

¹² CARRON, W.; PIQUEIRA, J. R.; GUIMARÃES, O. Projeto Múltiplo, Física, Volume 2. Ensino Médio. 1. ed. São Paulo: Ática, 2014, p. 236.

¹³ Utilizamos uma figura do livro de Física adotado no colégio, incentivamos que os estudantes também recorressem ao livro para fazer as Tarefas de Leitura.

(1) Amplitude

(2) Crista

(3) Vale

(4) Comprimento de onda

(5) Velocidade de propagação

(6) Elongação

() Depende da rapidez com que a pessoa agita a corda.

() Ponto mais baixo atingido pela corda.

() Depende de características da corda.

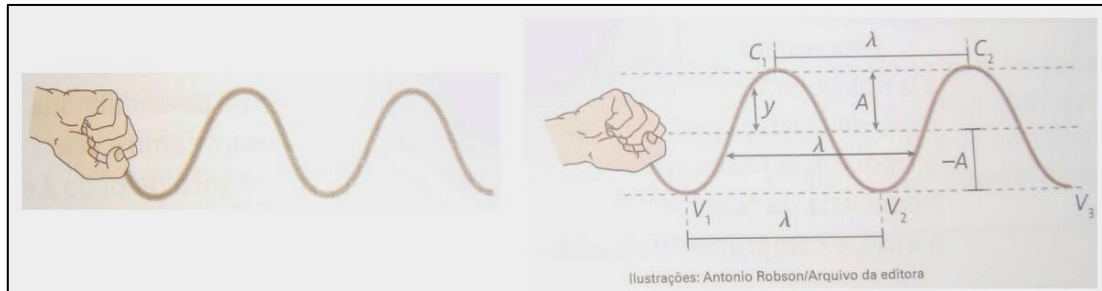
() Ponto mais alto atingido pela corda.

() Maior distância vertical entre um ponto na corda e a posição de equilíbrio.

() Distância vertical entre um ponto na corda e a posição de equilíbrio.

() Distância percorrida durante uma oscilação.

Figura 6 – Figura indicada na questão 3 da TL01.

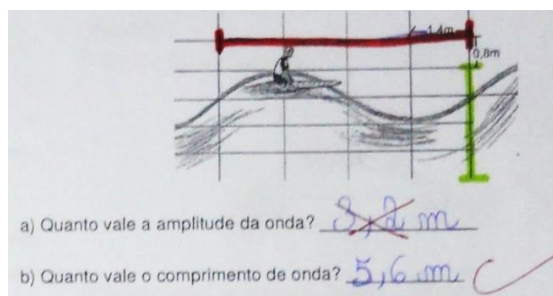


Fonte: CARRON, W.; PIQUEIRA, J. R.; GUIMARÃES, O. Projeto Múltiplo, Física, Volume 2. Ensino Médio. 1. ed. São Paulo: Ática, 2014.

Quadro 4 – Resultados da primeira Tarefa de Leitura, turmas 1 e 2.

RESULTADOS (TL1) – Turmas 1 e 2		
Respostas corretas		O que ficou mais difícil de entender
Questão 1.a	73%	Elongação, ondas em corda, velocidade de propagação.
Questão 1.b	84%	
Questão 3 (acerto total)	30%	

Figura 7 – uma das respostas na TL1.



Fonte: a autora.

A Figura 7 mostra a resposta da aluna A.H. à questão 1 da TL1. Pudemos perceber que não ficou claro para ela, e para outros (houve respostas semelhantes), quais eram os pontos que consideramos como referência para medir a amplitude de uma onda, já que ela marcou um comprimento em cor verde para determinar a amplitude.

A coluna “O que ficou mais difícil de entender” contém as indicações dos alunos na TL1, pois as Tarefas de Leitura têm sempre duas perguntas para que os estudantes possam indicar se houve problemas de compreensão do texto e quais partes consideram mais difíceis ou mais fáceis.

Optamos por não projetar respostas dos próprios alunos inicialmente (isso foi feito em outra aula). Procedemos assim, pois alguns alunos ficaram apreensivos com o fato de terem suas respostas expostas (disseram isso para a professora), ainda que tivéssemos explicado que seria de forma anônima. Portanto, resolvemos fazê-lo em outro momento. Corrigimos as TL individualmente e as entregamos aos estudantes. Seguem algumas das respostas à questão 2:

- Aluna M.E.: “Não, a velocidade de propagação depende do material de que a corda é feita”.
- Aluno L.R.: “Sim, a velocidade de propagação depende da rapidez que a pessoa agita a corda. Mais agitação, mais velocidade”.
- Aluna P.L.: “Não, a velocidade de propagação da onda depende exclusivamente do tipo de material da corda, sendo independente da velocidade de agitação”.
- Aluna R.I.: “Sim, para haver uma velocidade de propagação depende da rapidez com que a pessoa agita a corda, então quanto mais rápido agitar maior será a velocidade”.

A velocidade de propagação de uma onda em corda depende das características físicas da corda: densidade linear de massa e a tensão à qual a corda está submetida. Inicialmente não incluímos no texto da TL1 esses termos, mas fizemos referência a características físicas da corda influenciando a velocidade de propagação.

Um fato intrigante foi que grande parte dos alunos que responderam “não” na questão 2, argumentando que a velocidade de propagação só dependia do material da corda, não acertaram o item sobre velocidade de propagação na questão 3. Associaram o item “(5) velocidade de propagação” (na primeira coluna) ao primeiro item da segunda coluna “() Depende da rapidez com que a pessoa agita a corda”, em contradição com o que haviam respondido na questão 2. Assim, apesar da quantidade de acertos na questão 2, aumentamos, no nosso planejamento das aulas, o tempo de explicação do conceito de velocidade de propagação de uma onda. Esse conceito também foi indicado como um dos pontos difíceis de entender ou confusos na parte da tarefa em que o aluno expressa sua opinião.

5.1.1 Relato da aula 1

A Aula 1 ocorreu no dia 17 de maio nas duas turmas. Reforçamos o objetivo das TL, pois alguns alunos demonstraram preocupação com a avaliação, ainda pensavam que seria considerada alguma pontuação pela quantidade de acertos.

Iniciamos a aula explicando brevemente como seria a metodologia usada nas aulas sobre ondas. Em seguida, discutimos as respostas da TL1. Foram projetadas apenas as perguntas e comentamos as respostas de forma genérica.

Apresentamos a situação envolvendo tsunamis. Primeiramente mostramos um vídeo com uma das ondas gigantes na praia de Nazaré, Portugal. O brasileiro Carlos Burle surfou uma dessas ondas, de aproximadamente 30 m de altura. Mostramos também um vídeo com cenas reais dos *tsunami* na Indonésia (2004) e no Japão (2011). Então comparamos

duas imagens desses fenômenos em um slide da apresentação, conforme mostra a Figura 8.

Figura 8 – Apresentação, em aula, da situação proposta para as aulas de 1 a 6.



Explicamos para os alunos que eles mesmos chegariam a uma resposta para essa questão com o que estudariam nessas primeiras aulas sobre ondas. Fizemos uma breve exposição sobre o conceito de comprimento de onda. Utilizamos, nessa exposição, a ilustração da questão 1 da TL1, a simulação “Onda em corda” e o vídeo “Entenda como se formam as grandes ondas conhecidas como tsunamis”¹⁴. Aplicamos o TC1.1 na turma 2 e os TC 1.1, 1.2 e 1.3 na turma 1. A Figura 9 mostra como o professor visualiza os resultados de votações na aula, com o aplicativo *Plickers*. Ocultamos os nomes para preservar as identidades dos estudantes.

Figura 9 – visualização dos resultados de votações com o aplicativo *Plickers*.



Fonte: a autora.

¹⁴ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=VVO32nHLUVI>.

Nesta aula e em outras ocorreram diferenças na quantidade de Testes Conceituais aplicados devido às diferentes dúvidas que surgiam em cada turma e à necessidade de uma segunda votação em momentos diferentes em cada turma.

5.1.2 Relato da aula 2

Na turma 2 restaram dúvidas, então precisamos retomar o conceito de comprimento de onda. Aplicamos o TC1.2. Houve 92% de acerto na primeira votação, então passamos para outro conceito. Nas duas turmas fizemos breve exposição sobre o conceito de amplitude. Utilizamos novamente a simulação “Onda em corda” e a figura da questão 1 da TL1. Aplicamos os TC 1.4 e 1.5, e não houve necessidade de segunda votação nas duas turmas. As taxas de acerto nas votações das aulas 1 a 6 (situação envolvendo o tsunami) estão listadas no Quadro 5.

Quadro 5 – resultados das votações nos Testes Conceituais, aulas 1 a 6.

Teste Conceitual (TC)	Turma 1		Turma 2	
	1ª votação	2ª votação	1ª votação	2ª votação
TC 1.1	86%	-	67%	69%
TC 1.2	93%	-	92%	-
TC 1.3	97%	-	-	-
TC 1.4	93%	-	96%	-
TC 1.5	79%	-	85%	-
TC 1.6	-	-	92%	-
TC 2.1	100%	-	72%	100%
TC 2.2	74%	83%	88%	-
TC 2.3	42%	68%	20%	-
TC 2.4	97%	-	85%	-
TC 2.6	87%	-	73%	-
TC 2.9	93%	-	-	-
TC 4.1	82%	96%	77%	97%
TC 4.3	91%	-	63%	73%
TC 4.4	32%	81%	27%	67%
TC 4.6	70%	84%	55%	70%
TC 6.1	96%	-	83%	-
TC 6.2	-	-	63%	100%
TC 6.3	-	-	95%	-

Fizemos breve exposição sobre o conceito de alongação, utilizando as mesmas simulação e figura. Aplicamos o TC1.6 para as duas turmas. Não houve necessidade de segunda votação. Notamos que a turma 1 insistia em tentar conversar sobre as alternativas na primeira votação. Precisamos pedir que não o fizessem no início de cada primeira votação.

5.1.1 Relato da aula 3

Os conceitos trabalhados nessa aula foram velocidade de propagação e influência do meio na velocidade. Na TL1, esses conceitos apareceram nas indicações de quais assuntos os alunos gostariam de ter mais tempo de explicação na aula, ou que acharam mais difíceis de compreender.

Fizemos breve exposição sobre velocidade de propagação de uma onda. Usamos a simulação “Ondas em corda” e um acontecimento semelhante a uma onda: a *ola* em eventos esportivos. Aplicamos o TC2.1 na turma 2, a primeira votação teve 72% de acerto, como ficou perto de 70% resolvemos fazer uma segunda votação para oportunizar a discussão entre os estudantes. A segunda votação teve 100% de acerto. Este TC também foi utilizado na aula da turma 1. Utilizamos também os TC 2.2, 2.3, 2.4 e 2.6. Na turma 1, foi utilizado no fim da aula o TC 2.9. Os resultados das votações estão no Quadro 5. Em uma das votações do TC 2.3, houve apenas 20% de acerto. Então comentamos a questão e a alternativa correta. Explicamos um pouco mais o conceito e depois passamos a outro TC.

Foi entregue, para as duas turmas, a TL2, para que eles a respondessem até a próxima segunda-feira (24 de maio).

5.1.2 Relato da aula 4

Antes de relatar a aula, vamos descrever os resultados da TL2. Essa TL contém um texto de apoio com os conteúdos a serem estudados nas aulas 4, 5 e 6.

As questões 1 e 3 da TL2 eram objetivas. Indicamos no Quadro 6 os percentuais de acerto dessas questões.

Quadro 6 – taxas de acerto nas questões 1 e 3 da TL2 e dificuldades indicadas pelos estudantes.

RESULTADOS (TL2) – Turmas 1 e 2		
Respostas corretas		O que ficou mais difícil de entender
Questão 1.a	77%	Período e frequência, relações matemáticas, transporte de matéria e de energia.
Questão 1.b	72%	
Questão 1.c	43%	
Questão 3	19%	

Na questão 1, os estudantes precisavam indicar a frequência de uma onda conhecendo o período da mesma. Abaixo, segue o texto da questão.

Questão 1
 Complete com números e unidades de medida. Você pode escolher a unidade que achar mais conveniente em cada caso.

a) O texto cita um exemplo de onda com período de 15 s. Qual é a frequência dessa onda?

b) Seguindo o mesmo raciocínio desse exemplo, qual seria a frequência de uma onda de período 10 s?

c) E qual seria a frequência de uma onda de período 20 min?

As respostas corretas poderiam ser (a) $1/15$ segundos ou $1/4$ minuto (ou ainda 0,25 minutos); (b) $1/10$ s ou $1/6$ minuto e (c) $1/20$ minuto ou $1/3$ hora. Houve respostas com unidades de medida variadas. Na Figura 10, mostramos uma das respostas corretas, a resposta da aluna R.R.

Figura 10 – resposta correta de uma estudante na TL2, questão 1.

Questão 1
 Complete com números e unidades de medida. Você pode escolher a unidade que achar mais conveniente em cada caso.

a) O texto cita um exemplo de onda com período de 15s. Qual é a frequência dessa onda? $\frac{1}{15}$ s

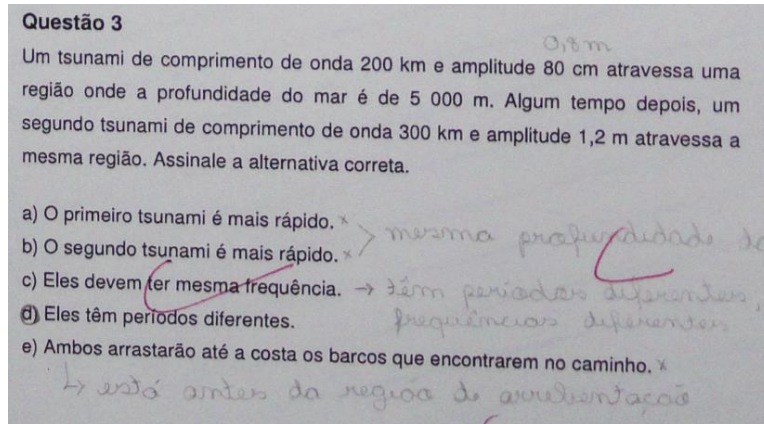
b) Seguindo o mesmo raciocínio desse exemplo, qual seria a frequência de uma onda de período 10s? $\frac{1}{10}$ s

c) E qual seria a frequência de uma onda de período 20 min? $\frac{1}{20}$ min

Fonte: a autora.

A aluna L.D. responde corretamente a questão 3 e escreve os critérios que utilizou para encontrar a resposta certa, como mostramos na Figura 11.

Figura 11 – resposta correta de uma estudante na TL2, questão 3.



Fonte: a autora.

As anotações de L.D. mostram que ela articula os conceitos aprendidos nas aulas anteriores com os novos, apresentados na TL2 e que chega a uma conclusão correta sobre os conceitos novos mesmo antes da aula, o que é o objetivo da Tarefa de Leitura do EsM e da nossa metodologia, que integra esse método com o IpC. A estudante teve um papel ativo na sua aprendizagem. Ela concluiu que as frequências são diferentes se os períodos são diferentes. Além disso, ela identificou a influência do meio na velocidade de propagação das ondas (maior ou menor profundidade).

A questão 2 perguntava sobre o transporte de matéria e de energia. Como a pergunta em (a) era “em quais casos”, o objetivo era apenas de verificar se o estudante leu o texto com atenção. Era uma tarefa simples de cumprir, não exigia elaboração do que foi lido. Ainda assim, alguns esqueceram de citar um caso. Os casos indicados no texto são ondas na região de arrebatamento e o efeito Stokes, que já comentamos anteriormente.

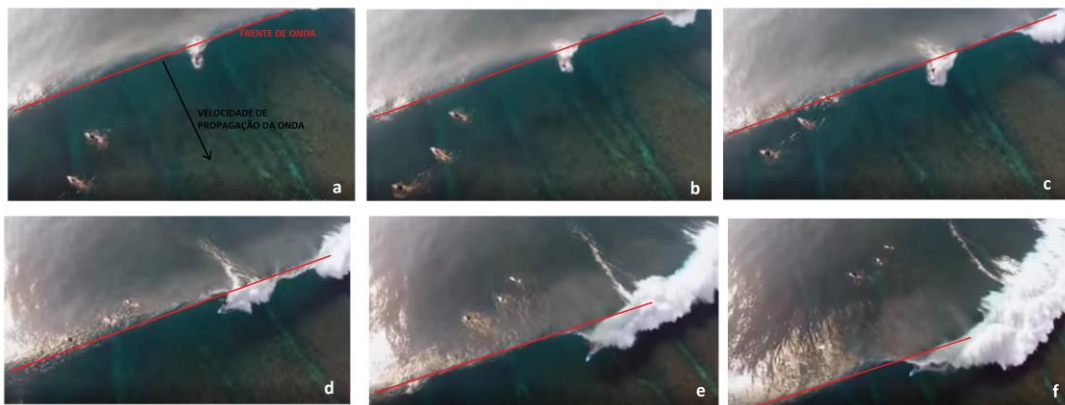
Questão 2

- a) Em quais casos ondas no mar transportam matéria (água, objetos, etc.)?
b) O que uma onda sempre transporta?

Poucos escreveram ter dúvida sobre o transporte de matéria na TL2, todavia, conversando com cada turma durante a miniexposição, outros alunos externaram a dúvida com transporte de energia e matéria, o que é recorrente

nos levantamentos de concepções sobre ondulatória. Portanto, selecionamos um vídeo com imagens gravadas por drones de vários surfistas em ondas no mar, o vídeo “*Best drone videos of surfing 2*”¹⁵, disponível no *YouTube*, e discutimos o assunto com cenas no vídeo na exposição da aula 4. Voltamos nossa atenção para um trecho em que é possível ver surfistas deitados em pranchas e uma onda passando por eles, e outro sendo transportado pela onda na parte em que ela já está arrebetando. Separamos seis quadros dessa cena, colocadas em ordem cronológica nas Figuras 12a até 12f.

Figuras 12a a 12f – surfistas em onda marítima, extraídas do vídeo “*Best drone videos of surfing 2*”.

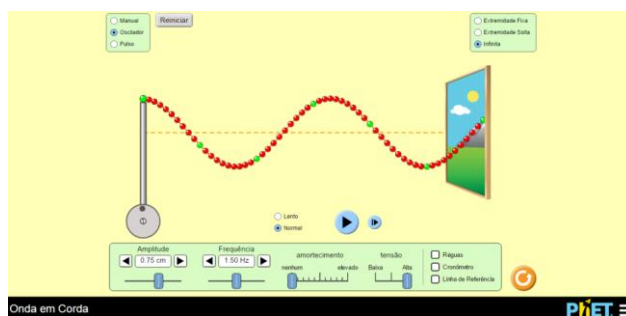


Fonte: vídeo “*Best drone videos of surfing 2*”

Há vários vídeos semelhantes disponíveis gratuitamente na página *YouTube*. Pudemos mostrar a direção da velocidade de propagação através dessas cenas. Também notamos que alguns alunos ficaram intrigados com a cena, pareciam achar que onda no mar sempre transportava as pessoas. Mas eles se deram conta que não tinham reparado nessas situações. Salientamos que há um movimento em forma de elipse que um objeto ou uma pessoa na água faz junto com a onda, mas a pessoa não é levada pela onda até a praia, ela oscila em torno da posição na qual estava. Quando a onda arrebeta, uma quantidade de água é realmente transportada na direção da velocidade de propagação da onda, assim como pessoas e objetos também podem ser transportados.

¹⁵ Vídeo disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=npCL-70HZas>. Acesso em: 16 mai. 2016.

Figura 13 – simulação “Onda em corda”, da página *PheT*.



Fonte: página *PheT*.

Utilizamos também a simulação “Onda em corda” para mostrar que uma parte da corda oscilando verticalmente, e não se deslocando na direção da velocidade da onda. Isto fica mais fácil de perceber porque há pontos de cor diferente na corda (ver Figura 13). Fomos pausando a animação para evidenciar o movimento de um desses pontos coloridos. Esta exposição foi mais longa, pois os alunos fizeram mais perguntas.

Aplicamos os TC 4.1 e 4.3. Os resultados estão no Quadro 5, na seção 5.1.2.

A aula 4 se estendeu por dois períodos (utilizamos um período da semana seguinte). Realizamos minixposição sobre frequência de ondas, relação entre velocidade e frequência, relação entre período e frequência e unidades de medida de cada grandeza. Foram aplicados os TC 4.4 e 4.6.

5.1.3 Relato da aula 5

No início da aula relembramos as grandezas que estudamos (velocidade de propagação, comprimento de onda, amplitude, período e frequência), listamo-las no quadro da sala juntamente com as relações entre elas e as respectivas unidades de medida. Relembramos também alguns múltiplos e submúltiplos que frequentemente aparecem em questões numéricas sobre ondas (centi, mili, micro, nano, quilo, mega) e relacionamos as potências de 10 correspondentes a cada um deles.

Em seguida, entregamos uma lista de problemas (P5.1 a P5.8, no Apêndice C). Os estudantes a resolveram em duplas ou trios. Ficamos circulando pela sala e explicando em cada grupo quando necessário.

Consideramos este método de resolução de problemas mais condizente com nossa metodologia. Os alunos são mais ativos no processo e o professor tem mais oportunidades de ver quais são as dúvidas. Assim como no IpC, os alunos explicam uns para os outros, argumentam entre si. Todos os grupos conseguiram resolver os problemas propostos. Inclusive, um grupo conseguiu resolver corretamente todos os problemas sem solicitar ajuda da professora. Os problemas nos quais os estudantes apresentaram mais dúvidas foram P5.5 e P5.6. Resolvemos estes no quadro no fim da aula.

5.1.4 Relato da aula 6

Nesta aula, o objetivo era que os alunos pudessem analisar o que ocorria com a velocidade de uma onda diante de alterações na frequência e no meio de propagação. Fizemos breve exposição desse assunto. Alguns alunos fizeram perguntas sobre o texto e as questões da TL2. Notamos que eles as traziam para a aula, alguns tinham o texto grifado e com anotações, e o consultavam durante a aula. Aplicamos os TC 6.1, 6.2 e 6.3. Os percentuais de respostas corretas estão no Quadro 5, na seção 5.1.2. Quando houve segunda votação, poucos eram os alunos que não tentavam conversar com os colegas sobre as alternativas. Tentamos estimulá-los, fazendo algumas observações e chamando o colega ao lado para responder também.

Terminamos esse bloco de aulas (de 1 a 6), com a resolução da situação. Mesmo antes da aula 6, alguns alunos já tinham concluído que os *tsunamis* são chamados de ondas gigantes devido ao comprimento de onda ser muito longo. Comentamos uma reportagem¹⁶ sobre a menina inglesa *Tilly*, de 10 anos, que percebeu o recuo anormal do mar na ilha de *Pukhet*, Tailândia, e se lembrou das aulas de geografia sobre *tsunami*. Ela avisou aos pais que puderam alertar outros turistas. Cerca de 100 pessoas foram salvas.

Aproveitamos o assunto ainda para alertar sobre as correntes de retorno nas praias. Quando a onda arrebenta na areia, traz água, e essa água precisa voltar. Constantemente vêm outras ondas atrás daquela, então a água volta por outro caminho. Esse caminho é o espaço sem ondas que os banhistas

¹⁶ Notícia de 01/01/2005 do jornal Folha de São Paulo, disponível em <http://www1.folha.uol.com.br/foha/mundo/ult94u79727.shtml>.

visualizam na praia e julgam que seja um lugar seguro por não ter ondas. Mas ali é a corrente de retorno. É como um rio, uma corrente da água voltando para o mar. Ali, as pessoas são levadas para regiões de maior profundidade e correm grande risco de se afogar, pois perdem o fôlego tentando nadar contra a correnteza para sair da água. Orientamos que não se deve mergulhar nessa região de corrente de retorno. Caso aconteça, deve-se nadar paralelamente à linha da areia, até sair da correnteza, e só então nadar para sair da água.

5.2 Relato das aulas 7, 8 e 9 (situação envolvendo voz e comunicação via telefone celular)

A TL3 foi distribuída no fim da aula 6 para que os alunos a estudassem e respondessem as questões até a segunda-feira seguinte, dia 06 de junho. Aproximadamente 90% dos alunos entregaram a TL3 respondida na data combinada (o mesmo ocorreu para TL1 e TL2). Os assuntos da TL3 envolviam: ondas mecânicas, ondas eletromagnéticas, ondas longitudinais e ondas transversais. Lemos as respostas e ajustamos o planejamento das aulas de acordo com as dificuldades encontradas.

Questão 1

Em situações de trabalho, por exemplo, de comunicação entre dois funcionários em uma fábrica com grandes galpões, é mais econômico que usem rádios comunicadores do que telefones celulares. São os chamados “*walkie talkies*”. Considerando o texto que você leu, você acha que as ondas que levam a informação de um rádio comunicador para outro são mecânicas ou eletromagnéticas? Por quê?

A maioria dos estudantes que respondeu “eletromagnética” justificou que esse tipo de onda podia se propagar no vácuo, ou que não necessitava de meio material para se propagar. É possível que não tenham considerado o ar como um meio material, ou apenas responderam isso porque estava no texto, sem relacionar com a situação. Alguns consideraram que uma onda sonora, portanto mecânica, era transmitida de um aparelho *walkie-talkie* a outro. Apenas cinco respostas (a do estudante I.C. e as das estudantes F.T., L.C., C.R. e R.B.) pareceram associar o aparelho de rádio comunicador às ondas de rádio no espectro eletromagnético (o texto da TL trazia uma imagem do espectro eletromagnético além das explicações). A resposta de F.T.,

entretanto, parece também não considerar o ar como meio material. A resposta de C.R. considera a transmissão do som da boca ao aparelho e depois da onda de rádio de um aparelho a outro. Seguem algumas respostas dos estudantes à questão 1:

- Aluno V.N.: *“Eletromagnéticas, pois são mais rápidas que ondas mecânicas e, com ‘walkietalkies’ são considerados rádios a onda eletromagnética é mais eficiente”.*
- Aluna F.T.: *“Eletromagnéticas. As ondas dos rádios são eletromagnéticas pois propagam-se no vácuo”.*
- Aluna U.T.: *“São ondas eletromagnéticas, porque como um rádio, são ondas que não dependem de um meio material para se propagar, podem se propagar pelo ar, vácuo, água..”.*
- Aluna R.L.: *“São mecânicas, pois se propagam pelo ar, ou seja, a sua voz agita as partículas que faz o ar captar essa vibração, e o rádio por ondas eletromagnéticas, transmite ao outro”.*
- Aluna S.A.: *“Eletromagnéticas (rádio) porque não dependem de nenhum meio material para se propagar, elas se propagam então no vácuo e com uma velocidade de até 300 000 km/s”.*
- Aluno B.E.: *“Mecânicas, pois o som utiliza meios (ar) para se propagar”.*
- Aluna R.R.: *“Mecânicas, porque levam o som, e o ar presente na fábrica é matéria para que essa propagação seja possível”.*

Percebemos que os estudantes que responderam “mecânica” parecem pensar que as ondas eletromagnéticas só podem se propagar no vácuo, e não se propagam em meio material.

A resposta do estudante L.E. foi a única que associou a transmissão de ondas para um aparelho de TV à transmissão de ondas entre rádios (talvez tenha feito a associação devido às informações na figura do espectro eletromagnético, onde constam as faixas de frequências de TV, rádio e celular).

- Aluno C.E.: *“Eletromagnética. Pois eu pensei que já que a TV manda forças eletromagnéticas os ‘walks’ devem mandar também”.*

A questão 2 solicitava que fossem classificadas as alternativas como verdadeiras (V) ou falsas (F).

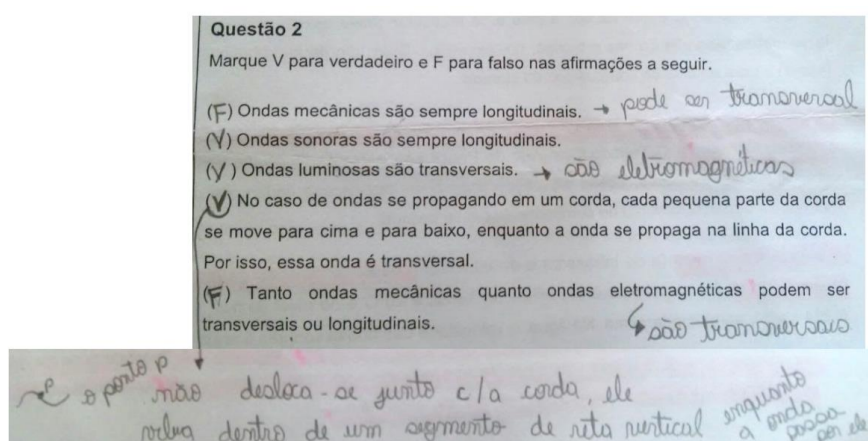
Questão 2

Marque V para verdadeiro e F para falso nas afirmações a seguir.

- () Ondas mecânicas são sempre longitudinais.
 () Ondas sonoras são sempre longitudinais.
 () Ondas luminosas são transversais.
 () No caso de ondas se propagando em um corda, cada pequena parte da corda se move para cima e para baixo, enquanto a onda se propaga na linha da corda. Por isso, essa onda é transversal.
 () Tanto ondas mecânicas quanto ondas eletromagnéticas podem ser transversais ou longitudinais.

Houve apenas três acertos totais nessa questão. Todavia, a maior parte dos erros foi na terceira afirmação. Ela é verdadeira, mas a maioria marcou como falsa. A estudante R.O., por exemplo, acrescenta explicações para cada alternativa, mostrando corretamente o critério utilizado para julgar cada uma como verdadeira ou falsa. Reproduzimos as respostas de R.O. na Figura 14. Onda longitudinal/transversal foi indicado pelos alunos, quase que por unanimidade, como conceito mais confuso ou mais difícil de entender, na TL3. Mesmo a aluna R.O. que respondeu corretamente todos os itens dessa questão pediu mais tempo de explicação sobre ondas longitudinais e transversais (Figura 15).

Figura 14 – resposta da aluna R.O. à questão 2, TL3.



Fonte: a autora.

Figura 15 – Estudante R.O. pede mais tempo de explicação na aula para os conceitos de onda longitudinal e onda transversal.

2. Você gostaria que houvesse maior tempo em aula para explicação de algum assunto contido no texto ou nessa tarefa?

Sim Não

Qual(is)? Definição e exemplos de onda longitudinal e transversal

Fonte: a autora

A questão 3 solicitava que o estudante assistisse novamente um dos vídeos indicados no texto da TL e observasse elementos que pudessem auxiliar na resposta.

Questão 3

Assista novamente o vídeo “Erupção explosiva de vulcão e onda de choque” (em <https://www.youtube.com/watch?v=HgHWbo8Jlzc>). A onda produzida na erupção é mecânica ou eletromagnética? O quê lhe ajudou a escolher sua resposta?

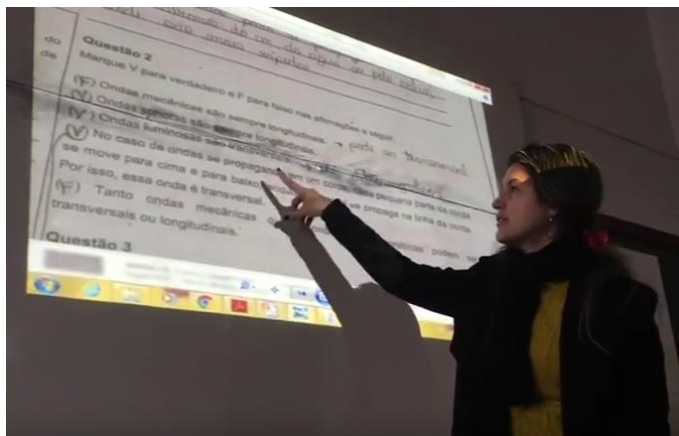
A onda produzida pela erupção é mecânica. A matéria expelida pelo vulcão de maneira abrupta empurra o ar ao redor, causando regiões de compressão e rarefação com grandes diferenças de pressão, caracterizando uma onda de choque. É possível ver, no vídeo indicado, o afastamento das nuvens quando a onda de choque passa. Lembramos, nos comentários às respostas, que isso não caracteriza transporte de matéria. As massas de ar apenas oscilam na direção da propagação. Seguem algumas das respostas à questão 3:

- Aluno L.R.: “Mecânicas, pois a explosão causou uma onda de choque que se propagou através da oscilação de partículas do ar (a explicação de ondas mecânicas da 1ª página)”.
- Aluna U.T.: “A onda produzida pela erupção do vulcão é mecânica, pois ao explodir, o vulcão gera som, e o som é uma onda mecânica, cuja empurra as nuvens, e só ondas mecânicas movem as coisas”.
- Aluna E.E.: “Mecânica, o que ajudou foi o som emitido pelo vulcão, pelo estouro que aconteceu, o som é uma onda mecânica”.
- Aluna C.T.: “É eletromagnética, pois ondas mecânicas se propagam em meios materiais, e a onda produzida pela erupção se propagou pelo ar, ou seja, uma meio sem matéria”.
- Aluno N.D.: “Eletromagnética, pois é mais rápida que o som”.

- Aluna L.S.: “São ondas eletromagnéticas. Pois elas não dependem de meio material para se propagar. Se propagam no vácuo”.
- Aluna E.D.: “Mecânica. Pois se propagam em meios materiais. São oscilações de vai e vem. Me ajudou a escolher porque quando há algum barulho ou quando quebram a barreira do som, em que haver algum meio em que ela se propaga”.

Novamente aparece a ideia de o ar não ser um meio material em algumas respostas, indicando uma dificuldade à qual devíamos dar mais atenção nesta aula e nas seguintes.

Figura 16 – projeção de uma das respostas da TL3 durante a aula.



Fonte: a autora.

Como os estudantes já estavam mais habituados à metodologia, decidimos fazer os comentários às respostas das TL exibindo as respostas de alguns estudantes (Figura 16), sem revelar os nomes, como indicado no método EsM.

Passaremos agora ao relato das aulas 7, 8 e 9.

5.2.1 Relato da aula 7

Começamos a aula 7 revisando a TL3, repassando e explicando as três questões. Percebemos que houve maior interesse também pelo fenômeno onda de choque. Uma estudante contou que leu em uma pesquisa um caso de marinheiros que estavam próximos a um vulcão que entrou em erupção, alguns tiveram rompimento do tímpano por causa da onda de choque.

Fizemos uma exposição oral diferenciando ondas mecânicas e eletromagnéticas. Utilizamos alguns trechos dos vídeos indicados na TL3 e a figura do espectro eletromagnético, também na TL3. Aplicamos os TC 7.1, 7.3 e 7.4. Os resultados estão no Quadro 7.

Os resultados da primeira votação no TC7.4 foram apagados acidentalmente. Indicamos apenas que eles eram menores que 70%.

Quadro 7 – percentuais de acerto nas votações dos TC nas aulas 7 a 9.

Teste Conceitual (TC)	Turma 1		Turma 2	
	1ª votação	2ª votação	1ª votação	2ª votação
TC 7.1	90%	-	96%	-
TC 7.3	17%	26%	21%	92%
TC 7.4	<70%*	69%	<70%*	79%
TC 7.6	-	-	88%	100%
TC 7.7	88%	-	-	-
TC 9.2	87%	-	89%	-
TC 9.4	97%	-	46%	75%

No TC 7.3 fizemos algo não recomendado no IpC: uma segunda votação sendo o resultado da primeira votação menor do que 30% de acerto. Decidimos fazer isto para aumentar o tempo de interação entre os estudantes, já que em alguns TC não foi preciso fazer segunda votação. Fizemos uma explicação mais detalhada após a segunda votação nas duas turmas.

Fizemos outra breve exposição diferenciando ondas longitudinais e transversais. Utilizamos vários recursos para melhor compreensão do que é uma onda longitudinal. Levamos uma mola *slinky* e produzimos ondas transversais e longitudinais durante a miniexposição. Mostramos um vídeo, indicado na TL3, com o mesmo tipo de mola, acionamos o recurso do *YouTube* de reduzir a velocidade do vídeo para evidenciar o pulso longitudinal. Utilizamos também a simulação “*Diapasão e som*” já referida no Quadro 3. Em seguida, aplicamos o TC 7.6 em uma turma e o 7.7 em outra.

5.2.2 Relato das aulas 8 e 9

Na semana dessas aulas, tivemos um evento não previsto, uma palestra, e ficamos com duas das três aulas planejadas para cada turma. A

aula 8 era de resolução de problemas quantitativos. Decidimos juntar os problemas P8 à lista de problemas P14, aplicando-os juntos na aula 14.

Iniciamos a aula 9 com uma exposição oral sobre ondas sonoras e suas características. Os estudantes participaram com perguntas e sugerindo vídeos, mostrando curiosidade sobre o espectro sonoro (audível) humano. Utilizamos um vídeo sugerido por um dos estudantes, com título “*20Hz to 20kHz (Human Audio Spectrum)*”¹⁷, e eles puderam ouvir os sons variando de grave para agudo de acordo com o aumento de frequência. Ainda sobre som, falamos um pouco sobre a estrutura do ouvido humano, localizando as partes em uma figura do ouvido interno. Utilizamos a simulação “*Som*” da página Phet, referida no Quadro 3 da seção 4.4 deste trabalho. Com ela, é possível mostrar a variação da amplitude de acordo com a intensidade sonora, o que é o aumento de amplitude visualmente e mostrar que sons de mais alta frequência são mais agudos. Em seguida, aplicamos os TC 9.2 e 9.4 (resultados no Quadro 7).

Entregamos a TL4 para que os alunos a respondessem e entregassem na semana seguinte.

5.3 Relato das aulas 10 a 12 (situação envolvendo *espectro solar e de outras fontes de luz*)

Os estudantes entregaram a TL4 respondida no início da semana, antes da aula 10. Comentaremos primeiro as respostas dessa Tarefa de Leitura e em seguida passaremos ao relato das aulas.

A TL 4 versa sobre a luz, a parte visível do espectro eletromagnético e introduz um pouco de espectroscopia. As questões 1 e 2.1 eram objetivas. O Quadro 8 informa os percentuais de acerto e o que os alunos indicaram como mais difícil ou confuso de compreender.

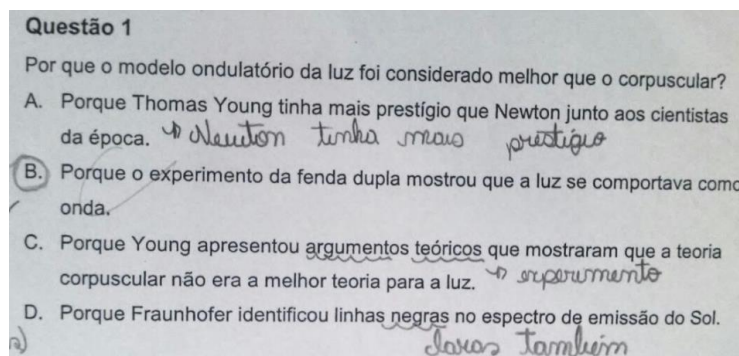
¹⁷ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=qNf9nzvnd1k> .

Quadro 8 – Percentuais de acerto nas questões 1 e 2.1 da TL4, e dificuldades indicadas pelos alunos.

RESULTADOS (TL4) – Turmas 1 e 2		
Respostas corretas		O quê ficou mais difícil de entender
Questão 1	94%	Espectro de emissão do Sol, experimento de Young, linhas negras no espectro solar.
Questão 2.1a	73%	
Questão 2.1b	73%	
Questão 2.1c	73%	
Questão 2.1d	75%	

A estudante R.O. novamente escreve os critérios usados para responder a questão objetiva, questão 1, demonstrando boa compreensão do texto proposto na TL. A Figura 17 mostra essa resposta.

Figura 17 – anotações da estudante R.O. ao responder a questão 1.



Fonte: a autora.

Houve um problema na questão 2.1. Parece que algum aluno escreveu ondas eletromagnéticas não visíveis junto das visíveis e vários copiaram sua resposta. Apesar de as cores estarem corretas nas respostas desses alunos, não contamos aqui como acerto, porque parece cópia e porque parte da resposta contém ondas não visíveis. Isto ocorreu em apenas uma das turmas.

<p>Questão 2</p> <p>2.1. Procure na internet uma figura do espectro visível das ondas eletromagnéticas. Observe-a e identifique a cor correspondente a cada comprimento de onda indicado (a mais próxima que você conseguir identificar).</p> <p>a) 450 nm → cor: _____</p> <p>b) 700 nm → cor: _____</p>

- c) 580 nm → cor: _____
 d) 520 nm → cor: _____

A seguir, transcrevemos uma dessas respostas repetidas.

- Aluno O.N.: “a) raio x – roxo; b) radio – vermelho; c) infravermelho – amarelo; d) UV – verde”.

A resposta correta é somente: (a) azul (ou roxo, já que é um azul bem escuro), (b) vermelho, (c) amarelo, (d) verde. A maioria dos estudantes respondeu dessa forma e foram considerados no Quadro 8.

Quanto às questões 2.2 e 3, discursivas, tivemos uma quantidade maior de respostas incorretas e de respostas parcialmente corretas na questão 3. A questão 2.2 teve maioria das respostas indicando que a maior frequência era da onda de menor comprimento de onda.

Questão 2

2.2. Qual dessas ondas tem maior frequência? Justifique.

A seguir, transcrevemos algumas respostas à questão 2.2:

- Aluna I.S.: “A de 450 nm, pois quanto menor o comprimento maior será sua frequência”.
- Aluna N.L.: “Onda de 450, ela tá mais perto do raio ultravioleta”.
- Aluno B.H.: “É a onda de 450 nm, porque como está mais perto das ondas ultravioletas, possui menor λ ”.
- Aluna V.A.: “Som, pois tem menor comprimento de onda e conseqüentemente a maior frequência.”
- Aluno O.P.: “Quanto menor o comprimento da onda, maior a frequência (raio x)”

Alguns estudantes responderam corretamente utilizando a relação de proporção inversa entre comprimento de onda e frequência, indicando a luz azul (450 nm) como a de maior frequência. Outros parecem ter respondido olhando a posição da luz azul no espectro eletromagnético e também responderam corretamente. Poucos erraram essa questão e erraram porque incluíram na pergunta outros tipos de onda (som, ultravioleta...).

Transcrevemos também algumas respostas à questão 3:

Questão 3

Podemos enxergar todas as ondas emitidas pelo Sol? Justifique.

- Aluna U.C.: *“Não, só se pode ver as ondas da luz, as outras ondas não são visíveis”.*
- Aluna B.I.: *“Não, tem ondas que não enxergamos a olho nú, como as infravermelhas que só sentimos”.*
- Aluno O.N.: *“Não, pois o raio infravermelho está fora do nosso alcance de visão (20 Hz até 20 000 Hz)”.*
- Aluna R.R.: *“Não, nós podemos apenas visualizar ondas que estão no nosso espectro visível (20 Hz – 20 000 Hz), as ondas infravermelhas (emitidas pelo Sol) estão fora dessa definição”.*
- Aluna V.A.: *“Não, só as que estão entre 400 nm e 750 nm”.*

Alguns identificaram corretamente que apenas a luz emitida pelo Sol é onda visível para o ser humano, inclusive houve quem citasse que podemos sentir as ondas infravermelhas, mas ver, somente a luz (estudante B.I.). Alguns acertaram usando o intervalo de comprimentos de onda da faixa visível para indicar a resposta. Alguns dos que erraram, associaram as frequências do som audível para o ser humano.

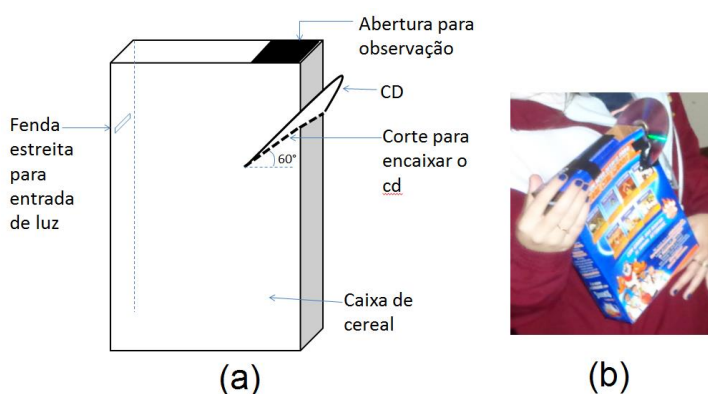
5.3.1 Relato da aula 10

Iniciamos a aula retomando as questões da TL4, projetamos algumas respostas dos estudantes para comentar e deixar que perguntassem.

Em seguida, fizemos breve exposição sobre o espectro visível, o espectro solar e as linhas negras de Fraunhofer, além de explicarmos o experimento de Young e porque ele foi determinante para a prevalência da teoria ondulatória da luz. Passamos, então, à apresentação do espectrógrafo e do que iríamos fazer com ele. Explicamos que o objetivo era observar o espectro visível de diversas fontes de luz, registrá-los com fotografias e compará-los.

Iniciamos a construção do espectrógrafo. Utilizamos o modelo apresentado por Westra, 2007, na revista eletrônica *Science in School*. Os materiais básicos são caixa de cereal e cd. No artigo consta a lista completa e as instruções para construir. Na Figura 18(a) consta um modelo para construção. O CD deve ser colocado a 60° , conforme a figura. O tamanho do corte deve ser suficiente para encaixar o CD até a parte do meio. Faz-se uma abertura para observação logo acima da parte brilhante do CD. A fenda deve ter largura de 2 ou 3 mm, o ideal é testar a melhor abertura. Para definir melhor a abertura, o autor recomenda usar lâminas de barbear. Utilizamos fita isolante preta no lugar das lâminas, na abertura estreita, e também para fechar outras entradas de luz e fixar melhor o CD.

Figura 18 – (a) modelo do espectrógrafo, (b) um espectrógrafo construído em aula.



Fonte: a autora.

Os espectrógrafos foram construídos em pequenos grupos, fomos auxiliando o processo de construção em cada grupo. Quase todos terminaram a construção nesta aula.

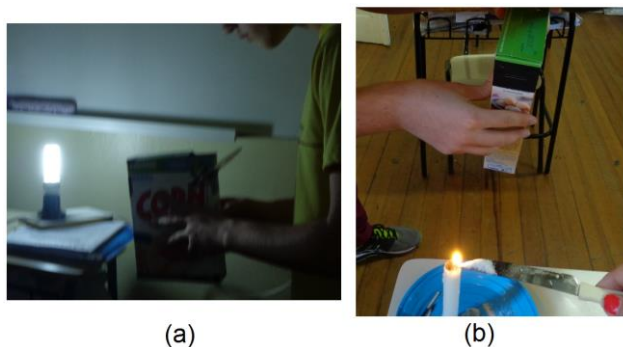
5.3.2 Relato da aula 11

Com o espectrógrafo pronto, os estudantes observaram fontes diversas de luz. Orientamos que cada grupo escolhesse duas fontes para fazer boas fotos, e que deveriam anotar de qual fonte de luz era cada foto. Levamos para a sala: lâmpada incandescente, lâmpada fluorescente (pequena, utilizada em residências), vela, sal de cozinha para queimar na chama da vela (colocamos sal na ponta de uma faca de mesa) e tela (branca) do *notebook*. Também observaram a luz solar através da janela e a lâmpada fluorescente da própria

sala de aula. Na Figura 19 podemos ver algumas das fontes de luz que os estudantes utilizaram no experimento.

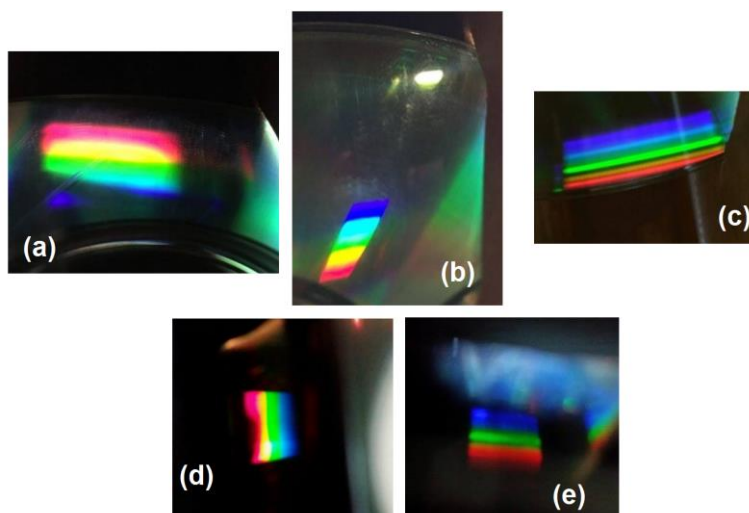
Selecionamos algumas das fotografias tiradas pelos estudantes, utilizando seus espectrógrafos, elas estão reproduzidas na Figura 20.

Figura 19 – (a) observação de luz de lâmpada fluorescente, (b) observação de luz emitida por chama da vela e cloreto de sódio.



Fonte: a autora.

Figura 20 – (a) e (b) espectro solar, (c) e (e) espectro de luz de lâmpada fluorescente, (d) espectro da luz de lâmpada incandescente.



Fonte: a autora.

Figura 20a, fotografia tirada pelo grupo da estudante B.T., Figura 20b, fotografia tirada pelo grupo da estudante M.E., Figura 20c, fotografia tirada pelo grupo da estudante N.N., Figuras 20d e 20e, fotografias tiradas pelo grupo da estudante E.D.

Alguns tiveram dificuldades em saber o que precisavam fotografar, o que deveriam ver na parte do CD dentro da caixa, ainda que tivéssemos explicado na apresentação, utilizando as imagens do artigo de Westra, 2007. Então fomos até cada grupo auxiliar a observação. Alguns demoraram mais, ou não conseguiram fazer boas fotos porque a abertura da fenda não estava boa.

Solicitamos que um representante de cada grupo enviasse duas fotos por e-mail ou por rede social para a professora, e que trouxessem as fotos no celular ou na câmera digital para a aula seguinte.

5.3.3 Relato da aula 12

Na aula 12 solicitamos aos alunos que se reunissem nos mesmos grupos e que tivessem à mão as fotos selecionadas para o trabalho. Distribuímos uma folha para cada grupo, com um modelo de minirrelatório. O material indicava que itens o minirrelatório deveria conter e o que deveria constar nesses itens. Fomos auxiliando os grupos.

A seguir, reproduzimos um dos minirrelatórios produzidos nessa atividade, escrito pelos estudantes E.D., I.T., V.N. e R.L.

RESUMO

Façam essa parte por último. Deve contar sobre todo o relatório de forma resumida.

“Através da teoria de grandes cientistas, conseguimos efetuar na prática a divisão das cores formadoras das luzes”.

INTRODUÇÃO

Apresentem aqui o assunto como um todo, sem detalhes. A pessoa que lê deve entender sobre o quê é o relatório e o que se deseja obter com ele.

“Este artigo irá descrever uma experiência manual muito interessante que pode ser facilmente replicada em casa ou na sala de aula. O espectrógrafo é construído a partir de materiais comuns e é usado para mostrar a composição das cores”.

DESENVOLVIMENTO

Expliquem como foi feita a experiência – com base em que teoria (em que área de conhecimento), como foi feita a montagem do espectrógrafo e para quê ele serve, quais as fontes de luz observadas com o espectrógrafos (as fotos dessas fontes são os dados coletados na experiência).

“A experiência foi feita através das ideias de Newton e Young. A base teórica utilizada foi o modelo corpuscular, adicionando a ideia de a luz ser uma onda. Nosso olho não tem a capacidade de enxergar todas as cores, utilizamos como auxílio um espectrógrafo feito com caixinha de chá, com um CD e fita. Com a lâmpada fluorescente, conseguimos observar a Teoria Ondulatória de Young com foco nas luzes azul, verde e vermelho. Com a lâmpada incandescente, observamos as cores mais nítidas e nas tonalidades azul, verde, amarelo e vermelho. A hora que começamos a montar o espectrógrafo, no lado oposto da caixa é montado o CD, a um ângulo de 60° com o fundo da caixa, uma abertura de 2 mm é feita através da qual se observa o CD. A luz do fundo é removida da caixa, tapando todos os orifícios à volta do CD, bem como os lados do CD, com fita preta. Para observar um espectro, a fenda é dirigida para uma fonte de luz (quanto mais próxima melhor). A nossa primeira tentativa é observar o espectro de uma lâmpada incandescente e em seguida o de uma fluorescente.”]

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Escrevam sobre as fotos obtidas. Relacionem as cores, podem indicar faixas de valores de comprimentos de onda associados, comparem as fotos indicando as diferenças e as semelhanças.

“Em cada foto observamos diferentes cores e intensidades. Na lâmpada incandescente, as cores são mais intensas e com as cores: azul, verde, amarelo e vermelho. Já com a lâmpada fluorescente, vemos as cores mais foscas e com coloração: azul, verde e vermelho.

Comprimentos de onda: 1. Azul: 440 – 485 nm, 2. Vermelho: 625 – 740 nm, 3. Verde: 500 – 565 nm, 4. Amarelo: 565 – 590 nm.”

CONCLUSÃO

Fechamento das ideias. O que se pretendia fazer foi alcançado? Se os resultados não foram bons o que poderia ter melhorado ou o que não foi feito corretamente? O que o grupo observou dos resultados em relação à teoria estudada?

“Conseguimos através, do nosso projeto, observar exatamente o que foi pedido. O que não foi feito corretamente foi a utilização de uma caixa de chá que era menor que a solicitada, porém, para dar certo, foi revestida de preto e transformado as medidas em uma escala 2:1. Nosso grupo conseguiu observar que na prática a teoria funcionou.”

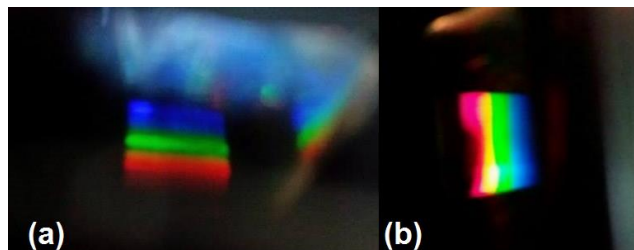
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Quais materiais foram usados como consulta? Textos (qual?), livro (qual?), anotações de aula (de quê aula?), página da internet (qual?)...

“Folha de exercício sobre ondas luminosas e anotações da aula de terça-feira (14/06/2016) e a de quarta-feira (15/06/2016).”

As duas fotos tiradas pelo grupo são reproduzidas nas Figuras 21a e 21b .

Figura 21 – (a) espectro da luz de lâmpada fluorescente, (b) espectro de luz de lâmpada incandescente.



Fonte: a autora.

Os estudantes que produziram este texto conseguiram fazer boas fotos mesmo adaptando o espectrógrafo com uma caixinha de chá (era uma caixa quase da largura da caixa de cereal, mas mais curta em relação ao comprimento da caixa de cereal). Eles identificaram corretamente uma diferença entre os espectros: a ausência do amarelo no espectro da lâmpada fluorescente. Não distribuimos roteiro de experimento, fomos orientando a realização da experiência durante a aula e os deixamos livres para observar várias fontes, fazer as alterações que julgassem necessárias no espectrógrafo e para escrever o minirrelatório.

Ao fim dessas atividades, entregamos a TL5 para que os estudantes a estudassem e respondessem as questões até a segunda-feira da próxima semana.

5.4 Relato das aulas 13 a 15 (situação envolvendo ultrassonografia e novamente *tsunami*)

Os estudantes entregaram a TL5 respondida na data combinada (apenas dois dos 61 não entregaram essa TL). Relataremos o resultado dessa tarefa e depois passaremos ao relato das aulas.

A TL5 contém um texto com os conceitos de reflexão e refração de ondas e, como as outras TL, sugestões de vídeos para auxiliar a compreensão dos fenômenos. Apenas a questão 1 era objetiva.

Questão 1

Sobre o índice de refração, é INCORRETO afirmar que:

- A. Indica mudança de velocidade de propagação.
- B. Indica mudança da frequência da onda em meios diferentes.
- C. É uma grandeza adimensional.
- D. É obtido pela divisão das velocidades das ondas nos dois meios (o de incidência e o de refração).

O percentual de acerto foi de 68%, considerando o total de alunos das duas turmas. A alternativa incorreta é a B. Na refração, a frequência da onda não é alterada. O índice de refração é uma grandeza que relaciona as diferentes velocidades de propagação da onda em dois meios.

A questão 2 perguntava sobre alterações na frequência e no comprimento de onda de uma onda que sofre refração.

Questão 2

Na refração, ocorre mudança de velocidade de propagação das ondas. O que ocorre com a frequência e com o comprimento de onda de uma onda que sofreu refração (isto é, mudou de meio de propagação)? Eles sofrem alteração? Justifique.

Quando uma onda sofre refração, a velocidade de propagação se altera em valor, pois esta depende das características físicas do meio de propagação. A mudança de meio de propagação de uma onda é o que determina o fenômeno refração. A frequência não se altera, pois é determinada somente pela fonte geradora de ondas. Assim, o comprimento de onda deve ser alterado na proporção direta da velocidade. Transcrevemos algumas respostas dos estudantes à questão 2:

- Aluna E.G.: *“Não, pois dependem somente da fonte emissora”.*
- Aluna R.R.: *“Sofrem, já que estes dois fatores interferem na velocidade de propagação das ondas”.*
- Aluno L.R.: *“Não, eles não sofrem alteração, pois só sofrem alteração quando muda a fonte de emissão e o meio”.*
- Aluna E.D.: *“Podemos concluir que o fenômeno da refração de onda ocorre sempre que a onda atravessa a superfície que separa dois meios em que a velocidade de propagação da onda é diferente. A frequência de uma onda é a da própria fonte geradora ou seja se mantém constante. Já a velocidade e o*

comprimento de onda são diretamente proporcionais. O desvio na direção de uma onda só ocorrerá se ela incidir obliquamente(...)”.

- Aluno N.D.: *“Segundo a fórmula $v = \lambda f$, a frequência e o comprimento de onda ficarão menores quando a velocidade aumentar”*.

A resposta da aluna E.D. está correta e muito bem explicada. Na resposta do aluno N.D., é utilizada a equação de onda (assim chamada no nível médio) para chegar à conclusão sem considerar a parte conceitual da influência do meio na velocidade e da determinação da frequência exclusivamente pela fonte. Outros alunos, como E.G., R.R. e L.R., parecem dizer que frequência e comprimento de onda sofrem alteração.

Questão 3

No vídeo “Ond: reflexão de pulsos unidimensionais.wmv”, observa-se a reflexão de pulsos de onda. Descreva o que ocorre com o pulso na situação em que uma extremidade da mola está presa (fixa) no pé de um banco e depois na situação em que o banco é retirado.

Na questão 3, solicita-se que o estudante faça uma descrição do fenômeno observado em duas situações. Seguem algumas das respostas.

- Aluna B.N.: *“Quando a mola está presa no banco, o pulso vai por um lado, se choca com o objeto e volta pelo outro lado. Sem o banco, o pulso vai e volta pelo mesmo lado”*.
- Aluna S.A.: *“Só ocorre reflexão no 1º caso, quando extremidade se mantém presa há inversão do pulso, porém isso não acontece quando é solta, mantém mesma direção”*.
- Aluno T.V.: *“Na primeira ocasião a onda volta ao contrário, a segunda não”*.
- Aluna E.D.: *“Com barreira a onda sofre um pulso pelo lado contrário do enviado pela onda. E sem barreira o pulso volta na mesma direção”*.
- Aluno C.E.: *“Quando tem objeto vai e volta, quando não tem só vai”*.

A aluna S.A. apresenta uma resposta parcialmente correta. Ela descreve bem o primeiro caso, mas não identifica o segundo como reflexão também, apesar de o pulso também retornar no caso da extremidade solta. A resposta de E.R. apresenta um elemento confuso: “a onda sofre um pulso”, mas consegue descrever o que ocorre nas duas situações. O aluno C.E. escreve

que o pulso não volta na segunda situação, apesar de ser nítido no vídeo o pulso refletido. A aluna B.N. descreve bem as duas situações.

Esses elementos identificados nas respostas dos estudantes são essenciais no ajuste do planejamento das aulas. Por exemplo, decidimos mostrar novamente o vídeo proposto na questão 3, em velocidade menor, fazendo uma descrição do fenômeno e explicando que ocorre reflexão em ambos os casos. Também separamos uma mola *slinky* para fazer a experiência durante a miniexposição sobre reflexão.

5.4.1 Relato da aula 13

Iniciamos comentando com os estudantes as respostas da TL5. Projetamos algumas respostas sem revelar o autor. Passamos à miniexposição do conceito de reflexão. Além do vídeo sugerido na questão 3 e da mola *slinky*, utilizamos também as simulações “Onda em corda” para mostrar a reflexão de pulsos em extremidade fixa e em extremidade móvel e a simulação som “Som” para mostrar a reflexão de ondas sonoras, verificando o que ocorria com a frequência de ondas refletidas, por exemplo. Discutimos a reflexão de ondas ultrassônicas no caso do morcego e do sistema de SONAR em navios. Aplicamos o TC 13.1 apenas na turma 1. Esta aula para a turma 2 ficou reduzida devido a uma prova na aula anterior, o horário da prova foi estendido O TC13.4 foi aplicado na aula 15 nas duas turmas. As taxas de acerto nas votações estão no Quadro 9.

Quadro 9 – percentuais de acerto nos TC13.1 e 13.4.

Teste Conceitual (TC)	Turma 1		Turma 2	
	1ª votação	2ª votação	1ª votação	2ª votação
TC 13.1	97%	-	-	-
TC 13.4	63%	86%	37%	44%

Fonte: a autora.

5.4.2 Relato da aula 14

Nesta aula os estudantes resolveram problemas quantitativos (na maioria) em duplas ou trios. Ficamos auxiliando a resolução quando os grupos chamavam e circulando pela sala para observar como se saíam. Distribuimos

uma lista com os problemas P14 e também com os P8, já que a aula 8 não ocorreu como previsto. Fornecemos as respostas finais das questões quantitativas para que os alunos identificassem erros, muitos conseguiam corrigir os erros sozinhos e explicavam uns aos outros. Alguns pediam ajuda à professora (autora deste trabalho). A lista foi terminada em aula pela maioria dos estudantes. Isso ocorreu de forma semelhante nas duas turmas.

5.4.3 Relato da aula 15

Retomamos, inicialmente, algumas dúvidas sobre reflexão. Em seguida, foi feita breve exposição sobre refração e situações envolvendo ambas. Utilizamos a simulação “Desvio da luz” da página *PheT*. Essa simulação permite fazer experiências virtuais tanto pelo viés da óptica geométrica como pelo viés da ondulatória. Então pudemos testar variação na frequência, no comprimento de onda, na velocidade de propagação, no índice de refração e no ângulo de incidência. Discutimos também a questão das ondas mecânicas, lembrando que a variação da profundidade no mar altera a velocidade do *tsunami*, então ele sofre refração. Discutimos o que ocorre com as ondas ultrassônicas em um exame de ultrassonografia. Aplicamos o TC13.4.

Encerramos a aula explicando que faríamos uma pausa na metodologia devido às provas na semana seguinte (datas definidas pela direção da escola). Assim, a última atividade (debate) ficaria para a semana seguinte às provas.

5.5 Relato das aulas 16 a 21 (radiações ionizantes)

5.5.1 Relato da aula 16

Não propusemos uma TL para essa atividade. Na aula 16, explicamos como seria realizado o trabalho. Propusemos dois temas para debate: a utilização de câmara de bronzeamento artificial e a instalação de usinas nucleares. Em cada turma, solicitamos que os estudantes formassem quatro grupos, dois para cada tema (um contra e um a favor o uso da câmara e a instalação da usina). Deixamos que eles mesmos escolhessem o que iriam defender e eles rapidamente entraram em acordo. Como os grupos ficaram grandes, solicitamos que se dividissem em subgrupos para estudar os textos que iriam pesquisar.

Definimos regras para o debate: cada grupo faria, no máximo, dez minutos de apresentação, incluindo três minutos de vídeo (tempo máximo permitido de vídeo). Se utilizassem *slides*, estes só poderiam conter figuras e legendas. Após a apresentação dos dois grupos, viria a rodada de perguntas. Um estudante do grupo contrário teria até dois minutos para perguntar e o grupo que apresentou teria até três minutos para responder e o grupo que respondeu teria um minuto de comentário da resposta. Cada grupo faria duas perguntas. Depois haveria uma segunda rodada de perguntas, feitas pelos grupos do outro tema, pois, ao final, eles tomariam uma decisão por escrito sobre o tema discutido, escrevendo que argumentos foram mais importantes para a sua decisão. Seriam dois minutos de resposta para cada grupo. A quantidade de perguntas dependeria do tempo disponível na aula. Havíamos pré-definido as regras, mas negociamos algumas alterações com os estudantes (por exemplo, usar vídeo na apresentação). Também foi solicitado que todas as argumentações deveriam ser embasadas por textos com fontes registradas e entregues à professora no dia da apresentação.

Em seguida, fizemos uma breve exposição sobre as radiações ionizantes no espectro eletromagnético. Explicamos que apenas parte da radiação ultravioleta era ionizante, e deixamos que pesquisassem mais detalhes. Explicamos que radiação gama é emitida dos núcleos dos átomos em reações nucleares e pedimos que pesquisassem reações nucleares nas usinas. Diferenciamos irradiação de contaminação, enfatizando que pessoas e objetos irradiados não ficam contaminados. Houve perguntas e comentários, e o assunto gerou grande interesse. Principalmente porque houve (há cerca de dois anos), na cidade em que se localiza a escola, uma polêmica em relação às câmaras de bronzamento artificial, pois havia muita propaganda das clínicas de estética e pouca informação sobre os riscos.

Encerramos a aula pedindo que os estudantes pesquisassem textos sobre seus assuntos e os trouxessem para as próximas aulas, que seriam utilizadas para que os grupos preparassem suas apresentações e discutissem os assuntos entre si. Deixamos os últimos minutos para que conversassem sobre o que cada uma poderia trazer.

5.5.2 Relato das aulas 17 e 18

As aulas 17 e 18 foram aulas de preparação para o debate. Os grupos se reuniram com seus textos. Estimulamos os estudantes a trazerem *notebooks* e *tablets* para trabalhar em sala de aula. Alguns trouxeram pesquisa no celular. Outros iam à biblioteca quando precisavam pesquisar.

Orientamos os estudantes a organizarem a estrutura de sua apresentação, quais seriam os principais argumentos que usariam para defender sua apresentação e que já tentassem prever quais perguntas o grupo adversário poderia fazer.

Deixamos que os estudantes utilizassem os tempos das duas aulas para essa preparação. Ficamos atentos às fontes de pesquisa que estavam utilizando, pedimos que verificassem se a fonte era confiável, fornecemos sugestões e os ajudamos a pesquisar, em algumas vezes.

5.5.3 Relato das aulas 19 a 21

Nestas aulas foram realizados os debates em cada turma. Todos os grupos trouxeram as referências dos textos pesquisados (alguns escreveram apenas o endereço eletrônico). Utilizamos um aplicativo de cronômetro com sinal sonoro para marcar o tempo de fala de cada grupo. Os alunos vieram bem preparados para participar do debate. Colocamos metade das carteiras para os grupos de um assunto assistirem e a outra metade em duas fileiras, uma de frente para a outra, para debaterem. A professora (autora deste trabalho) ficou como mediadora, marcando o tempo, orientando para que seguissem as regras, sem manifestar-se auxiliando qualquer grupo na argumentação, nem se posicionando contra ou a favor em ambos os temas.

No debate sobre usina nuclear, os estudantes trouxeram informações sobre lixo radioativo, comparação do custo de instalação de usinas, impactos no ecossistema, riscos de contaminação, eficiência energética e tempo de emissão de radiação, entre outros. Percebemos, em suas falas, ainda uma confusão entre irradiação e contaminação. Transcrevemos a seguir um trecho do debate sobre instalação de usinas nucleares.

- Aluna F.L.(durante a apresentação inicial): “Sobre os defensores da usina nuclear, eles falam que elas não causam dano à camada de ozônio. É certo que no processo da usina nuclear, que a gente viu no vídeo deles antes, não tem... não vai causar nada, só que você não pode desconsiderar o transporte, o que vai causar, o transporte da radiação, para formar urânio gasta muito gás carbônico... Segundo a pesquisa do programa americano Nuclear Power Energy Balance o... pra... o ciclo de geração nas usinas nucleares emite de 150 a 400g de gás carbônico por kWh e do parque eólico emite de 10 a 50g de gás carbônico por kWh. Se a gente levar em conta toda a cadeia produtiva desde a construção da usina, a extração de minério radioativo nas minas até o descarte do lixo radioativo, veremos que as emissões são muito grandes.”
- Aluno L.K.(na primeira rodada de perguntas): “Você falou que a usina eólica produz mais energia que a nuclear, eu quero que você prove isso.”
- Aluna B.A.(respondendo ao grupo de L.K.): “Então é assim, respondendo a (...), ela fala que a radioatividade passa, depois de 244 mil anos, (...) esperando ela passar. As pessoas, tipo, não tem contato, e não tem doença. Então como é que morre um monte de gente? Você pediu pra eu te provar que a eólica produz mais que a nuclear, então me prove que a nuclear produz mais que a eólica (...).”

Distribuímos para os outros estudantes (os que não estavam apresentando) fichas para decisão “contra” ou “a favor” com argumentação. A Figura 22 mostra as fichas do estudante E.S. e da estudante L.P.

Figura 22 – argumentação por escrito de dois estudantes sobre o tema instalação de usinas nucleares.

INSTALAÇÃO DE USINA NUCLEAR (USINA DE FISSÃO NUCLEAR)	INSTALAÇÃO DE USINA NUCLEAR (USINA DE FISSÃO NUCLEAR)
() CONTRA (X) A FAVOR	(X) CONTRA () A FAVOR
Justifique a sua escolha com base em argumentos discutidos no debate.	Justifique a sua escolha com base em argumentos discutidos no debate.
<p>A energia nuclear é uma das mais importantes em geração de energia. Ocupa uma área menor e a capacidade de geração de energia é maior que as demais fontes de energia.</p>	<p>É possível observar que a usina nuclear gera menos lixo, mas as fontes alternativas que a longo prazo não se esgotam e os prejuízos radioativos são muitos.</p>

Fonte: a autora.

A maioria dos estudantes da turma 1 posicionou-se contra a instalação de usinas de fissão nuclear e a turma 2 posicionou-se a favor.

No debate sobre o uso de câmara de bronzeamento artificial, os grupos que defendiam a posição a favor tiveram mais dificuldades de encontrar argumentos a favor, já que a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) emitiu uma resolução proibindo o uso da câmara para fins estéticos. Ajudamos os grupos a buscarem textos internacionais, de países em que o uso não era proibido e quais os argumentos que eles utilizavam. Nas falas era frequente o termo “radiação UV”, e a referência a qual tipo (UVA, UVB ou UVC) era menos frequente, tendo aparecido somente na apresentação inicial dos grupos. Os grupos trouxeram muita informação sobre câmaras de fototerapia (e suas diferenças em relação à câmara de bronzeamento), tratamento de vitiligo e psoríase e dados de pesquisas como as do Instituto Nacional do Câncer, por exemplo.

Transcrevemos abaixo um trecho de um dos debates.

- Aluna F.N.: *“os mesmos raios que tem no Sol tem na câmara de bronzeamento...”*
- Aluna F.L.: *“Eu fiquei na dúvida assim... se você usar o bronzeamento artificial você vai ter câncer de pele, é certo isso, ou você pode adquirir câncer de pele, aumenta as chances assim?”*
- Aluna F.N.: *“Se você fizer como deve (?) bem certo, não é de certeza que você vai adquirir. Se você fizer sessão a mais, mais tempo, você tem a possibilidade. Se fizer corretamente, não é de certeza.”*
- Aluna M.T.: *“Vimos essa informação pela pesquisa da INCA, ela falou que a maioria dos casos de bronzeamento de pele era, de câncer de pele era devido ao bronzeamento e assim...depois que você usou a câmara, as manchas na pele não vão vir logo depois, elas vão levar um tempo. Então, você pode arriscar, só que...”*
- Aluna F.N.: *“Vai da consciência de cada pessoa.”*

No fim dos debates deste tema também distribuímos as fichas de decisão e argumentação. A Figura 23 reproduz as decisões das estudantes B.C. e N.P.

Figura 23 - argumentação por escrito de dois estudantes sobre o tema uso de câmara de bronzeamento artificial.

USO DE CÂMARA DE BRONZEAMENTO ARTIFICIAL	USO DE CÂMARA DE BRONZEAMENTO ARTIFICIAL
<input checked="" type="checkbox"/> CONTRA () A FAVOR	<input checked="" type="checkbox"/> CONTRA () A FAVOR
Justifique a sua escolha com base em argumentos discutidos no debate.	Justifique a sua escolha com base em argumentos discutidos no debate.
<p>A radiação emitida pela câmara de bronzeamento é de 50% do tipo UVB e a intensidade emitida pelo sol</p>	<p>Porque o uso de câmara de bronzeamento artificial é ilegal no Brasil e a probabilidade de aumentar os índices de câncer com o bronzeamento é enorme.</p>

Fonte: a autora.

A maioria dos estudantes das duas turmas posicionou-se contra o uso de câmaras de bronzeamento artificial.

Encerramos esta aula nas duas turmas solicitando aos alunos que respondessem o questionário de avaliação da nossa proposta de ensino. O questionário (opinário) está no Apêndice E.

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo, discutiremos os resultados obtidos nas Tarefas de Leitura, nos Testes Conceituais, na resolução de Problemas quantitativos e na realização da atividade experimental. Também discutiremos a avaliação da metodologia do ponto de vista dos estudantes.

As Tarefas de Leitura foram entregues, na maioria, na data combinada com os estudantes. Eles leram e elaboraram suas respostas conforme solicitado, de modo geral. Uma minoria não se esforçou para responder (talvez sete ou oito alunos). Outro ponto positivo que destacamos foi o fato de muitos alunos terem grifado, feito anotações ao longo do texto da TL e terem levado o texto para as aulas. Isso mostra que, pelo menos em parte, atingimos um dos objetivos: promover o engajamento dos estudantes no seu processo de aprendizagem. Conseguimos identificar nas respostas das TL semelhanças com as concepções presentes no nosso levantamento (Capítulo 2).

Os resultados que obtivemos com as Tarefas de Leitura também mostram que houve aprendizado de conceitos, leis físicas, compreensão de fenômenos, antes do momento da aula, e que as TL são eficientes para que o professor identifique dificuldades que surgiram enquanto os alunos estudam o assunto antes da aula. Isto realmente possibilitou um melhor planejamento das aulas, atacando mais as dificuldades apresentadas.

Quanto aos Testes Conceituais, observando os Quadros 5, 7 e 9, vê-se que em apenas 41% deles houve segunda votação, o que é um resultado negativo, já que a discussão entre os pares é o ponto central do IpC. Um resultado positivo é que em todas as segundas votações, o percentual de acerto aumentou, o que está de acordo com os resultados na literatura em ensino. Podemos apontar também como resultado positivo a participação dos estudantes, muito perceptível na mudança de ambiente da sala de aula em relação ao método tradicional somente expositivo.

O método de resolução de problemas em duplas ou trios foi satisfatório. Houve grupos que não solicitaram a ajuda da professora e conseguiram resolver os problemas entendendo o processo de resolução. Os que tiveram dúvidas foram auxiliados pelos outros colegas ou pela professora. Ainda que alguns estudantes possam ter ficado com dúvidas depois do fim da atividade em sala, consideramos que o fato de o aluno estar mais ativo no processo já é um ganho. Dessa forma, o professor tem algum *feedback*, pode ter indícios se estão compreendendo os processos de resolução, mais do que se estivesse apenas demonstrando as resoluções no quadro da sala. Além disso, a maioria dos grupos conseguiu resolver os problemas sem grandes dificuldades.

Na atividade com o espectrógrafo, os estudantes foram capazes de realizar o experimento em sala de aula e de redigir um texto reunindo os elementos estudados com os registros obtidos (fotografias). Trouxeram para o texto conceitos estudados na Tarefa de Leitura e na minixposição na aula. As explicações dos estudantes nos minirrelatórios contêm erros, mas houve aprendizado já que há partes bem construídas nos textos, com elementos corretos conceitualmente. Novamente, como outro ponto positivo, os alunos tiveram papel ativo nessas atividades, construindo o espectrógrafo, observando diversas fontes de luz, fazendo ajustes no espectrógrafo para melhorar as imagens, selecionando as melhores fotos e registrando a atividade por escrito.

Os estudantes avaliaram a realização da sequência didática respondendo o questionário de opinião (Apêndice E). Vamos listar e analisar os resultados. 52 dos 61 estudantes responderam ao questionário.

- Questão 1: 86,5% dos estudantes consideraram a proposta muito melhor ou melhor do que a metodologia utilizada nas aulas anteriores ao estudo de ondulatória.
- Questão 2: 86,5% dos estudantes consideraram o EsM muito melhor ou melhor do que o método tradicional de ensino.
- Questão 3: 92,3% dos estudantes consideraram suficiente o tempo para realização das Tarefas de Leitura.

- Questão 4: 34,6% dos estudantes consideraram os textos das Tarefas de Leitura de fácil entendimento. 61,5% consideraram o nível razoável.
- Questão 5: 21,2% dos estudantes consideraram as questões das TL fáceis de responder. 75,0% consideraram o nível das questões adequado.
- Questão 6: 82,7% dos estudantes consideraram que funcionou bem o preparo das aulas voltado para as principais dificuldades a partir das respostas das TL.
- Questão 7: 92,3% dos estudantes consideraram o IpC melhor ou muito melhor do que o método tradicional expositivo.
- Questão 8: 94,2% dos estudantes consideraram o método de votação nos TC (o aplicativo *Plickers*) bom ou ótimo.
- Questão 9: 96,2% dos estudantes consideraram que aprenderam os conteúdos bem ou muito bem com essa metodologia.
- Questão 10: No item (a), 90,4% dos estudantes consideraram a quantidade de problemas das listas boa ou razoável; no item (b), 61,5% consideraram o nível de dificuldade dos problemas difícil, mas conseguiram resolver, 32,7% consideraram o nível de dificuldade dos problemas razoável; e no item (c) 96,2% dos estudantes consideraram que o resolver os problemas em duplas ou trios ajudou no aprendizado.
- Questão 11: 88,5% dos estudantes gostariam que a metodologia fosse utilizada mais vezes nas aulas de Física.
- Questão 12: dentre as sugestões para melhorar a aplicação dessa metodologia, as que mais apareceram foram: mais resolução de exercícios (fazer alguns antes, de forma expositiva), maior quantidade de exercícios quantitativos, realização de mais experiências e mais tempo para explicações.

Transcrevemos a seguir algumas das respostas à questão 11. A questão era: você gostaria que esses métodos fossem utilizados mais vezes nas aulas de Física? Por quê?

- “Sim, porque trabalhamos mais em cima dos assuntos em que a maioria tem dificuldade, e fica mais fácil para o professor, perdendo menos

tempo explicando o conceito base (que já vai está na folhinha) e ganha mais tempo com mais atividades.”

- “Sim, mas com conceitos passados no quadro para melhor compreender os assuntos abordados.”
- “Não, prefiro explicação tradicional.”
- “Gostaria, pois a linguagem do professor é técnica e às vezes não consigo entender, ou tenho até mesmo vergonha. Quando conversamos, com um colega, tudo fica mais fácil.”
- “Sim, porque aprendemos os conteúdos de uma forma dinâmica e diferente, que desenvolve mais o interesse em relação às aulas de física e ao assunto.”
- “Depende, faltou explicação para algumas dúvidas.”
- “Preferia o outro método, mas esse não é ruim para o aprendizado.”
- “Sim, pois une os colegas, é uma aula mais dinâmica e não muito chata e cansativa, nos faz aprender de um jeito mais fácil.”

A partir desses resultados, formulamos as possíveis conclusões:

- A metodologia é viável no ensino médio regular, em períodos de 45 minutos sem aulas geminadas.

- A metodologia aplicada é uma alternativa que favorece o aprendizado, de acordo com o nosso ponto de vista e também na opinião dos estudantes.

- As Tarefas de Leitura trazem bons resultados de *feedback* para o professor, e os estudantes aprendem alguns conceitos sem a necessidade de explicação prolongada em sala de aula. Assim, o tempo de aula é otimizado.

- A utilização de Tarefas de Leitura (TL) em material físico (em folhas distribuídas aos estudantes) permitiu que eles pudessem fazer anotações nos textos, trazendo-os para o momento da aula. Em todas as TL, havia muito material grifado, com anotações. Também nas questões havia anotações extras, até mesmo nas questões objetivas. As TL em material físico são uma alternativa viável.

- A revisão das Tarefas de Leitura pelo professor antes de as aulas acontecerem demanda mais tempo de trabalho. Por outro lado, elas podem ser usadas no lugar das tarefas de casa, geralmente feitas após a explicação do conteúdo em aula, invertendo o modo tradicional do ensino. O aluno estuda e faz a tarefa antes da aula, depois faz atividades mais elaboradas na aula, tendo o apoio do professor e dos colegas.

- As atividades experimentais favorecem o aprendizado e podem ser intercaladas com os métodos IpC e EsM. Os estudantes preferem fazer mais atividades experimentais do que assistir demonstrações.

- A resolução de problemas em pequenos grupos favorece a aprendizagem e os estudantes que participaram deste estudo preferem essa forma. Eles consideram que seria melhor se houvesse uma quantidade maior de problemas e se a professora resolvesse alguns com eles antes, no quadro da sala.

- O método IpC é melhor aceito pelos estudantes do que o tradicional e eles consideram importante as discussões nas votações dos Testes Conceituais. Os resultados nas segundas votações, sempre maiores que das primeiras (ainda que não atingissem os 70%) estão de acordo com os resultados apontados pela literatura em ensino de Física. A discussão entre os pares favorece a convergência para a resposta correta, corroborando resultados da literatura internacional (FREEMAN et al., 2014; DESLAURIERS, SCHELEW, WIEMAN, 2011).

- Alguns dos Testes Conceituais aqui propostos podem ter sido fáceis demais para os alunos que participaram do nosso estudo (podem não ser para outros, ou em outra metodologia), haja vista a baixa quantidade de segundas votações.

- A professora que fez as miniexposições, autora deste trabalho, excedeu o tempo em algumas das exposições, o que reduziu a quantidade de Testes Conceituais aplicados.

- O debate teve como ponto positivo a participação dos estudantes. Muitos ficaram bastante empolgados, quase que competindo com os colegas em termos de melhor argumentação. As regras definidas em conjunto com os estudantes funcionaram bem, mantiveram o bom andamento do debate, dentro do tempo previsto e garantindo oportunidades iguais. Os temas propostos possibilitaram a ligação de conteúdos de Física com outras áreas (em Biologia, por exemplo, nos efeitos da radiação ultravioleta na pele humana). Por outro lado, houve pouca argumentação utilizando as características das radiações gama e ultravioleta e também pouca explicação sobre essas radiações durante as apresentações das equipes. Talvez devêssemos estruturar melhor o debate em relação ao conteúdo.

- Houve engajamento dos estudantes no processo de aprendizagem, verificada pela leitura dos textos e respostas das Tarefas de Leitura, pelas discussões no IpC, pela participação na atividade experimental e pelo envolvimento com os debates, tanto na preparação quanto nas discussões.

- A questão norteadora para o estudo dos conceitos de refração e reflexão não se tornou uma situação-problema, provavelmente por falha da professora em exceder o tempo da exposição dos conceitos e também pelo tempo de aula ter sido reduzido devido a imprevistos em uma das aulas.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Aplicamos uma sequência didática em ondas com resultados bastante positivos, haja vista o que acabamos de discutir e ainda que tenham ocorrido alguns problemas. Consideramos que os métodos ativos de ensino utilizados podem ser uma das ferramentas disponíveis para o professor, para tornar as aulas mais dinâmicas e possibilitar maior participação dos estudantes. Não a única, mas uma das ferramentas disponíveis.

Há muitas críticas em relação ao ensino de Física, geralmente em relação à falta de atividades práticas, à falta de compreensão dos conceitos e à falta de entendimento da resolução de questões quantitativas. É frequente escutarmos relatos de estudantes que veem a Física como um amontoado de fórmulas sem sentido. Os métodos usados neste trabalho trouxeram respostas a essas críticas, pois os resultados mostram que é possível aplicar tais métodos em aulas de Física no ensino médio no Brasil.

Este trabalho soma esforços tanto na divulgação de métodos ativos no ensino de Física quanto na discussão da importância de se variar os métodos utilizados na sala de aula (e também com atividades que os estudantes realizam fora dela). A boa avaliação que os alunos fizeram da aplicação dessa sequência didática vem ao encontro da receptividade dos métodos IpC e EsM em outros trabalhos.

É preciso discutir o ensino de Física, assumir a responsabilidade, enquanto professores, pelo engajamento dos estudantes, pelo menos no que tange à elaboração de maneiras de motivá-los, de diversificar as aulas e de permitir que tenham mais oportunidades de serem ativos no processo de aprendizagem. Neste sentido, este trabalho já cumpriu o papel de alterar o pensamento e a prática da autora do trabalho, que assumia menos essa responsabilidade, deixando-a muito mais para os estudantes, como se fossem totalmente responsáveis por se interessarem pelas aulas, ainda que não houvesse muita variabilidade nas metodologias utilizadas.

Reconhecemos as dificuldades inerentes ao dia a dia do professor do ensino básico, a falta de estrutura e de condições de trabalho que tornam mais difícil implementar novos métodos nas aulas. É comum, e não deveria ser, o professor do ensino básico passar muitas horas não remuneradas trabalhando fora de sala de aula com planejamento e correção de atividades. De forma alguma o intuito da nossa proposta é aumentar essa carga que é injusta. O produto educacional¹⁸ desenvolvido, disponível nos anexos deste trabalho, pode ser diretamente utilizado por outros professores. O método de votação que usamos faz registro de forma automática, facilitando o acompanhamento das respostas dos estudantes e ainda forma um banco de questões que podem ser aplicadas diversas vezes. Se preferir, o professor pode enviar os textos das Tarefas de Leitura eletronicamente e pedir que os estudantes respondam às questões através dos formulários do *Google* Formulários, o que facilita a visualização de estatísticas das respostas.

São muitos os desafios que encontramos no cotidiano da sala de aula, muitas vezes não fazemos tudo da forma como gostaríamos. Noutras vezes, gostaríamos de mudar nossa prática, mas não temos alternativas confiáveis. O que apresentamos neste trabalho é uma sugestão, dentre muitas possíveis para enfrentar os problemas no ensino de Física. Todo o material aplicado foi desenvolvido para que os estudantes tivessem melhor compreensão, também, do papel da Física e do que ela é no nível de ensino em que estão dando mais protagonismo à compreensão de conceitos, à discussão e à argumentação. Sem isto, as fórmulas não têm sentido. Esperamos, portanto, ter trazido contribuições para o enfrentamento de problemas no ensino de Física no ensino básico e ter aberto caminho para busca de mais respostas que nos auxiliem a trilhar esse caminho.

¹⁸ O produto educacional também está disponível na forma de Texto de Apoio ao Professor, em http://www.if.ufrgs.br/public/tapf/tapf_v27n5_bianchi.pdf . Além do material contido nos apêndices desta dissertação, há também orientações sobre a aplicação da metodologia, cronogramas e respostas e comentários das questões.

REFERÊNCIAS

- ARAUJO, I. S.; MAZUR, E. Instrução pelos colegas e ensino sob medida: uma proposta para o engajamento dos alunos no processo de ensino-aprendizagem de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 30, n. 2: p. 362-384, ago. 2013.
- BARAIS, A. W.; VERGNAUD, G. *Students' conceptions in physics and mathematics: biases and helps*. In Caverni, J. P., Fabre, J. M., Gonzalez, M. (Eds.). **Cognitive biases. North Holland: Elsevier Science Publishers**, p. 69-84, 1990.
- BARROS, J. A. et al. Engajamento interativo no curso de Física I da UFJF. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n.1, p. 63-69, 2004.
- BRANDÃO, R. V.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. A modelagem científica vista como um campo conceitual. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 28, n. 3, p. 507-545, dez. 2011.
- BRAVO, S.; PESA, S. La construcción de representaciones sobre movimiento ondulatorio. **Revista de Enseñanza de la Física**, v. 18, n. 2, pp. 25-42, 2005.
- CARVALHO JUNIOR, G. D.; AGUIAR JUNIOR, O. Os campos conceituais de Vergnaud como ferramenta para o planejamento didático. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 25, n. 2, p. 207-227, ago. 2008.
- DESLAURIERS, L.; SCHELEW, E.; WIEMAN, C. Improved Learning in a Large-Enrollment Physics Class. **Science**, v. 332, n. 6031, p. 862-864, 2011.
- ERTHAL, J. P. C.; LINHARES, M. P. Proposta de ensino de tópicos sobre radiações eletromagnéticas para o ensino médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 25, n. 2, p. 247-265, ago. 2008.
- FRANCHI, A. Considerações sobre a teoria dos campos conceituais. In Alcântara Machado S. D. et al. *Educação Matemática: uma introdução*. São Paulo, EDUC, p. 155-195, 1999.
- FREEMAN, S. et al. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America PNAS**. Boston, EarlyEdition, mai. 2014.
- GOBARA, S. T. et al. O conceito de ondas na visão dos estudantes. **VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação e Ciências**. Florianópolis, 2007.
- GRECA, I. M., MOREIRA, M. A.; Além da detecção de modelos mentais dos estudantes: uma proposta representacional integradora. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 31-53, 2002.
- GRINGS, E. T. O., CABALLERO, C., MOREIRA, M. A.; Possíveis indicadores de invariantes operatórios apresentados por estudantes em conceitos da termodinâmica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 4, p. 463-471, 2006.

KANTROWITZ, B. A ciência da aprendizagem. **Scientific American. Mente & Cérebro**, v. 278, p. 26-31, 2016.

MAZUR, E. ; **Peer Instruction: A User's Manual**. Prentice Hall, Upper Saddle River, Nova Jersey, 1997.

MOREIRA, M. A., A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 7-29, 2002.

MORINI, L. B. M. **Atividades experimentais de Física à luz da epistemologia de Laudan: ondas mecânicas no ensino médio**. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

MÜLLER, M. G. et al.; Implementação do método de ensino *Peer Instruction* com o auxílio dos computadores do projeto "UCA" em aulas de física do ensino médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 29, n. Especial 1, p. 491-524, set. 2012.

NASCIMENTO, C. S.; GOBARA, S. T., Uma Introdução ao ensino de ondas Sonoras. In: XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2007, São Luís. **Livro do programa do XVII Simpósio**. São Luís, v. 1, p. 1-11, 2007.

NOVAK, G. et al. Just-in-Time Teaching. Disponível em: < <http://jittdl.physics.iupui.edu/jitt/>>. Acesso em: 29 jan. 2015.

OLIVEIRA, V. **Uma proposta de ensino de tópicos de Eletromagnetismo via Instrução pelos Colegas e Ensino sob Medida para o ensino médio**. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

OLIVEIRA, V.; VEIT, E. A.; ARAUJO, I. S. Relato de experiência com os métodos Ensino sob Medida (*Just-in-Time Teaching*) e Instrução pelos Colegas (*Peer Instruction*) para o Ensino de Tópicos de Eletromagnetismo no nível médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 32, n. 1, p. 180-206, 2015.

PROJECT 2061. *In reviewing the literature some misconceptions related to waves are listed below*. **AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE**, [199-] Disponível em: < http://www.cosee-west.org/Dec0410/wave_misconceptions.pdf>. Acesso em: 06/07/2014.

SANTOS, M. L. Tsunami: que onda é essa? **Física na Escola**, v. 6, n. 2, out. 2005.

SANTOS, A. G.; BARROS, F. S. Ondas de água: uma revisão ao nível médio. **Física na Escola**, v. 9, n. 2, out. 2008.

SANTOS, M. B.; VEIT, E. A. Métodos ativos de ensino: instrução pelos colegas e ensino sob medida aplicados ao ensino de física. In: **XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física**, Uberlândia, 2015. Universidade Federal de Uberlândia.

SCHEFFLER, G. L.; DEL PINO, J. C. A teoria dos campos conceituais de vergnaud e o ensino de radioatividade. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 8, n. 1, p. 29-46, 2013.

SILVA, B. V. da C.; MARTINS, A. F. P. A natureza da luz e o ensino da óptica: uma experiência didática envolvendo o uso da história e da filosofia da ciência no ensino médio. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 2, p. 71-91, 2010.

SILVA, J. de A.; SOUZA, C. M. S. G. de. O modelo ondulatório como estratégia de promoção da evolução conceitual em tópicos sobre a luz em nível médio. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 20, n. 1, p. 23-41, 2008.

SILVEIRA, F. L.; VARRIALE, M. C. Propagação das ondas marítimas e dos tsunamis. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 22, n. 2, p. 190-215, 2005.

SOUSA, C. M. S. G. de; LARA, A. E.; MOREIRA, M. A.. A resolução de problemas em conteúdos de ondas na perspectiva dos campos conceituais: uma tentativa de Inferir a construção de modelos mentais e identificar invariantes operatórios. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 4, n. 1, p. 101-113, 2004.

VERGNAUD, G.; *Problem solving and concept development in the learning of mathematics*. **E.A.R.L.I. Second Meeting**,. Tübingen, 1987.

VERGNAUD, G. et al. *Epistemology and psychology of mathematics education*. In Nesher, P. & Kilpatrick, J. (Eds.) **Mathematics and cognition: A research synthesis by International Group for the Psychology of Mathematics Education**. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

VERGNAUD, G.; *Teoria dos campos conceituais*. In Nasser, L. (Ed.) **Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro**, p. 1-26, 1993.

VERGNAUD, G.; *A trama dos campos conceituais na construção dos conhecimentos*. **Revista do GEMPA**, Porto Alegre, n. 4, p. 9-19, 1996.

WESTRA, M. T. Uma nova visão da luz: construa o seu próprio espectrômetro. **Science in School**, n. 4, 2007.

**APÊNDICE A – TEXTOS DE APOIO E TAREFAS DE
LEITURA**

TEXTO PARA TAREFA 01

“NA ONDA DO SURFE”



As ondas comuns que chegam até as praias são produzidas por ventos em alto-mar. Quando o vento atinge a água, há transferência de energia – o vento transfere energia para a água. Uma onda transporta essa energia recebida do vento. O surfista usa a energia da onda e a do seu próprio corpo para se mover com sua prancha.

As ondas representadas na Figura 1 deslocam-se para a direita. Então, essas ondas, próximas da região de rebentação (surfe), têm uma velocidade de propagação para a direita (é a velocidade com que a onda se desloca, progride). Quanto maior a profundidade do mar no local, maior a velocidade de propagação das ondas¹⁹. Esta velocidade não depende de como a onda foi gerada, depende da profundidade do mar onde as ondas passam. Quando elas se aproximam da parte mais rasa, a parte que está mais baixa “bate” no fundo e o topo continua, o que faz a onda “quebrar”.

Agora observe a forma das ondas na zona de surfe e antes da zona de arrebentação. Na região de surfe, a onda “quebra”. É ali que o surfista é levado pela onda. Por enquanto, vamos analisar as ondas que estão antes da arrebentação.



Figura 1. A velocidade com que a onda se propaga diminui quando ela passa por trechos mais rasos.

Imagine o mar calmo, praticamente sem ondas. Chamaremos esse nível da água de posição de equilíbrio, representada pela linha pontilhada na Figura 2. Quando uma onda chega, a

¹⁹ Isto é válido para ondas normais em mar raso. No caso do alto mar, a velocidade de propagação dependerá somente do comprimento de onda. Mas isto não se aplica a tsunamis, pois o comprimento de onda de um tsunami é muito maior do que a profundidade do mar, então sua velocidade dependerá da profundidade. Para maiores esclarecimentos sobre o tópico visite https://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/Ondas_tsunami.pdf.

posição mais alta que a água alcança é chamada de crista (por isso que se usa a expressão “na crista da onda”), e a posição mais baixa é o vale ou cavado.



Figura 2. A posição de equilíbrio representa o nível do mar sem ondas.

A altura do nível da água em relação à posição de equilíbrio recebe o nome de elongação. A elongação máxima é chamada de amplitude. Assim, é na crista (ou no vale) que a elongação é máxima.

Observando a Figura 3, no ponto A, a linha da superfície da água cruza com a linha pontilhada. Vemos isso de novo no ponto B e depois de novo, no ponto C. Dizemos que esse movimento da água é uma oscilação completa (porque a água sai da posição de equilíbrio, vai para cima, depois para baixo e volta à posição de equilíbrio, oscilando enquanto a onda passa¹).

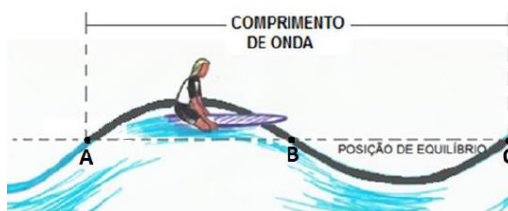


Figura 3. A distância que a onda percorre em um ciclo é chamada de comprimento de onda.

Olhe de novo para a Figura 3. Nela, o comprimento de onda é maior que a amplitude. A distância entre duas cristas consecutivas fornece a medida do comprimento de onda. Mas pode muito bem ser a distância entre dois vales consecutivos. Pode ser a distância entre quaisquer dois pontos da superfície da água, desde que, entre eles, a onda complete um ciclo. Os tsunamis² podem ter mais de 150 km de comprimento de onda em águas profundas.

TEXTO PARA TAREFA 01

Podemos pensar o que é uma onda. É uma alteração, uma perturbação periódica em um meio. Essa perturbação avança através do meio. No caso da onda no mar, o meio é a água. A onda atravessa o meio. O surfista, antes da região de arrebentação, não vai para frente junto com a onda até chegar à areia. A onda passa por ele.



Figura 4. Toda onda atravessa um meio. Neste caso, o meio é a água.



No caso de ondas numa corda, a própria corda é o meio pela qual a onda passa. E passa com uma velocidade que depende somente do tipo de corda. Ainda que a corda seja agitada mais rapidamente, a onda não avançará com mais velocidade. Ondas em uma corda possuem características em comum com ondas na água. Quais semelhanças você acha que existem entre elas? Passe para a Tarefa de Leitura e pense um pouco!

Figura 5. Uma criança agita uma corda – isto é uma perturbação na corda. A perturbação progride, passando pela corda.

¹ A oscilação das partículas de água também ocorre para frente e para trás, mas isto não será discutido neste texto.

² Tsunami são ondas gigantes geradas comumente por terremotos no fundo do mar, devido ao atrito entre placas tectônicas.

TAREFA 01 – Tarefa de Leitura

Nome: _____ 2ª série _____

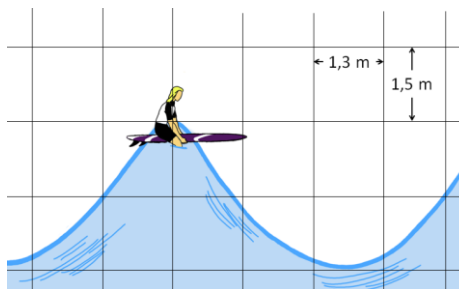
A tarefa deve ser entregue na segunda-feira (dia _____), ANTES da aula de Física.

Conceitos abordados nesta tarefa: comprimento de onda, velocidade de propagação, amplitude, crista, vale e elongação.

Antes, leia o texto de apoio anexo a esta tarefa.

Questão 1

Observe a figura e responda:



- a) Quanto vale a amplitude da onda? _____
 b) Quanto vale o comprimento de onda? _____

Questão 2

Joana agita uma corda produzindo uma onda periódica. Se ela aumentar a rapidez com que agita a extremidade da corda, a onda chegará mais rapidamente à outra extremidade, isto é, terá maior velocidade de propagação? Justifique.

Questão 3

Considere a situação representada na Figura 8.9 na página 236. Numere a segunda coluna de acordo com a primeira. Um espaço entre parêntesis da segunda coluna ficará em branco, pois não tem correspondente na primeira coluna.

- | | |
|------------------------------|---|
| (1) Amplitude | () Depende da rapidez com que a pessoa agita a corda. |
| (2) Crista | () Ponto mais baixo atingido pela corda. |
| (3) Vale | () Depende de características da corda. |
| (4) Comprimento de onda | () Ponto mais alto atingido pela corda. |
| (5) Velocidade de propagação | () Maior distância vertical entre um ponto na corda e a posição de equilíbrio. |
| (6) Elongação | () Distância vertical entre um ponto na corda e a posição de equilíbrio. |
| | () Distância percorrida durante uma oscilação. |

SUA OPINIÃO

1. Você considerou algo do texto confuso ou difícil de entender?

() Sim () Não

O quê? _____

2. Você gostaria que houvesse maior tempo em aula para explicação de algum assunto contido no texto ou nessa tarefa?

() Sim () Não

Qual(is)? _____

TEXTO PARA TAREFA 02

Quanto tempo leva entre uma onda e outra no tsunami?



Os acontecimentos recentes de tsunami na Indonésia (2004) e no Japão (2011) foram assustadores. Esses eventos foram causados por terremotos. Nesses tsunamis a crosta terrestre submersa é deformada e movimentada as águas de forma abrupta. A coluna de água no local do tremor é levantada e assim se inicia o tsunami. A maioria dos tsunamis registrados foram gerados por terremotos. Mas também há os causados por erupções vulcânicas e quedas de meteorito no mar. O maior deles ocorreu no Alasca, em 1958, devido à queda de toneladas de gelo e rocha na baía Lituya. A onda chegou a 50m de altura. Em 1882, a erupção do vulcão Krakatoa gerou um tsunami na Indonésia, causando mais de 36 mil mortes. O filme *O impossível*, do diretor Juan Bayona, retrata o sofrimento de uma família que estava em férias na Tailândia e foi atingida pelo tsunami em 2004. As cenas mostram os efeitos devastadores da imensa quantidade de água adentrando uma região povoada e sem nenhum tipo de alerta para minimizar o número de vítimas. Compreender o comportamento das ondas é essencial para lidar com esse fenômeno.

Alguns vídeos com cenas de tsunamis reais: Indonésia (2004) e Japão (2011)

<https://www.youtube.com/watch?v=FZHF2OI669s>

https://www.youtube.com/watch?v=K6cJo_gD8TU

O termo japonês *tsunami* é a junção das palavras “onda” (tsu) e “porto” (nami) e designa não só uma onda, mas uma série delas. Pode-se perceber as várias ondas em tsunamis nos diversos vídeos disponíveis na internet, na página *YouTube*, feitos por pessoas atingidas por tsunamis. O tempo que se passa entre a chegada de duas cristas consecutivas em ondas comuns no mar é de alguns segundos (você já deve ter percebido isso num passeio na praia). No caso dos *tsunamis*, esse tempo é maior – minutos, até mesmo meia hora. Essa é uma das diferenças entre *tsunami* e ondas marítimas comuns.

Esse *tempo entre a passagem de duas cristas consecutivas* (isto é, um ciclo completo da onda) é chamado de **período**, não só para ondas no mar, mas também para qualquer tipo de onda. Como período é um intervalo de tempo, tem unidades de medida de tempo (segundo, minuto, hora...). Uma onda marítima comum pode ter um período de 14 segundos, por exemplo. Já um tsunami pode ter um período de 20 minutos. Isso quer dizer que, após uma crista chegar à praia, levará 20 minutos para outra crista chegar.

Um dos indícios de *tsunami* é um recuo abrupto das águas. Isto não acontece em todos os *tsunamis*, mas, se a água do mar recuar muito em pouco tempo, corra para o local mais alto que conseguir, pois isto é um sinal de que um tsunami atingirá a costa em poucos minutos.

Quanto menor o período, mais ondas completas passam por um mesmo ponto em determinado intervalo de tempo. A *quantidade de ondas completas em uma unidade de tempo* é chamada de **frequência**. Por exemplo, se o período de uma onda é 15 segundos, a cada um minuto ocorrerão quatro ondas (4 ciclos completos). Assim, a frequência é 4 ciclos por minuto. Podemos usar qualquer unidade de tempo. Se a unidade de tempo escolhida for o segundo (que é a unidade padrão do SI), a frequência será medida em ciclos por segundo, unidade SI que leva o nome de hertz (Hz). Quanto menor o período, maior a frequência e vice-versa. Um é o inverso do outro.

Os *tsunami* também têm grandes velocidades de propagação em alto-mar, podem chegar a mais de 850 km/h (como um avião a jato). As ondas comuns não atingem velocidades tão altas (podem ter 80 km/h, por exemplo). Isso ocorre porque, apesar de ambas estarem em mar profundo, para o *tsunami* o mar não é fundo, quando comparado ao seu comprimento de onda. Um *tsunami* pode ter centenas de quilômetros de comprimento de onda, e as maiores profundidades no oceano não atingem mais do que 11 km.



Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894)

Primeiro a produzir ondas de rádio, as que permitem transmissões de rádio, TV, celular e telecomunicações em geral.

Fonte da imagem:

<http://www.hertz.eng.br/site/?pg=quemsomos>

*Figura 1. Heinrich Hertz.
A unidade de medida de frequência no SI é o Hertz.*

Já as ondas marítimas comuns, geradas por ventos, alguns metros de comprimento de onda.

Assim, um mesmo ambiente é diferente para dois tipos de ondas diferentes (assim como uma piscina de 1,4 m de profundidade é funda para uma criancinha e rasa para um adulto). Mas as velocidades de ambas diminuem quando se aproximam da costa.

Em geral, *o meio em que uma onda se propaga é o fator determinante da sua velocidade*. O meio de propagação é aquilo que a onda atravessa (água, corda, ar,...). Ondas na água são mais rápidas onde é mais fundo e mais lentas onde é mais raso. Ondas em cordas igualmente esticadas, isto é, com a mesma força tensora, são mais rápidas quanto mais fina a corda e mais lentas quanto mais grossa a corda.

As ondas só conseguem atravessar um meio se houver uma força restauradora, uma força que traga o meio de volta à sua condição original. No caso de ondas no mar, essa força é a gravitacional (por isso essas ondas são chamadas ondas de gravidade). No caso de ondas numa corda esticada, a corda é um meio elástico, uma força elástica restaura a forma esticada.

As ondas viajam pela água, mas não carregam uma parte da água junto com elas, não antes da região de arrebentação. Quando você imagina ondas, pode ser que imagine um surfista sendo levado numa onda, ou até mesmo onda de tsunami arrebentando na praia e arrastando tudo que estiver na frente. E é assim mesmo que ocorre, a partir da arrebentação. Mas quando as ondas têm formato mais “bem comportado” (sem cristas agudas, semelhantes a uma ponta) e não quebram, isto é, completam o ciclo, elas não arrastam materiais*. Elas apenas transportam

energia. Isso é uma característica de todas as ondas (não só das ondas na água). Achou estranho? Veja isso no vídeo disponível no YouTube no link https://www.youtube.com/watch?v=N90l_gtGlpM (ou encontre-o pelo título: *Best drone vídeos of surfing 2*) Repare que aos 1min38s, há três surfistas deitados nas pranchas. Eles não são levados pela onda, mas essa onda transporta energia.

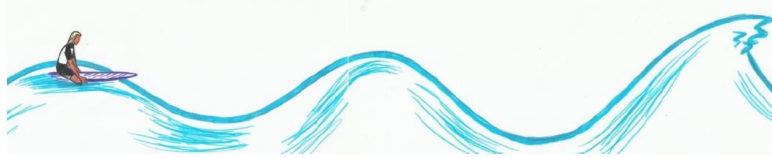


Figura 2. Antes da região de arrebentação, o surfista não é levado pela onda.

* Um caso particular em que ondas marítimas transportam matéria é chamado de efeito Stokes. As cristas são mais agudas e as partículas de água não completam o ciclo. Mesmo neste caso a velocidade de deriva do meio é muito menor do que a velocidade de propagação da onda.

Repassando...

A velocidade de propagação de uma onda é determinada somente pelas características do meio no qual ela se propaga. No caso de ondas marítimas em mar raso, se o meio não se altera, a velocidade é a mesma²⁰. A frequência das ondas é determinada pela fonte que gerou essas ondas. No caso do tsunami, um terremoto. No caso de ondas comuns no mar, os ventos. No caso de ondas numa corda, a mão que agita a extremidade da corda. Nenhum outro fator que não a fonte, nem mesmo mudança de meio de propagação, pode modificar a frequência das ondas. Como **o período é o inverso da frequência**, ele também é determinado pela fonte que gera as ondas.

Relações matemáticas

Equação fundamental da ondulatória	Relação entre período e frequência
$v = \lambda f$	$f = \frac{1}{T}$
v : velocidade de propagação da onda	f : frequência da onda
λ : comprimento de onda	T : período da onda
f : frequência da onda	

Bibliografia

KNIGHT, D. RANDALL, Física: uma abordagem estratégica, vol. 2. Ed. 2. São Paulo: Bookman, 2009.

SILVEIRA, F. L.; VARRIALE, M. C. Propagação das ondas marítimas e dos tsunamis. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Porto Alegre, v. 22, n. 2, p. 190-215, 2005.

SANTOS, M. L. Tsunami: que onda é essa? Física na Escola, v. 6, n. 2, out. 2005.

²⁰ Em mar profundo as ondas marítimas tem velocidade de propagação dependente da frequência, meios que tem essa características são chamados de não dispersivos. Questões de vestibular raramente se referem a essa situação. Em geral, nas questões de física do ensino médio, as ondas se propagam em meios dispersivos (neles, a velocidade de propagação não depende da frequência e do comprimento de onda).

TAREFA 02 – Tarefa de Leitura

Nome: _____ 2ª série _____

A tarefa deve ser entregue na segunda-feira (dia _____), ANTES da aula de Física.

Conceitos abordados nesta tarefa: período, frequência, transporte de energia, dependência entre meio e velocidade de propagação.

Antes, leia o texto de apoio anexo a esta tarefa e o texto do livro de Física, parte II, página 237.

SUA OPINIÃO

1. Você considerou algo do texto confuso ou difícil de entender?

Sim Não

O quê? _____

2. Você gostaria que houvesse maior tempo em aula para explicação de algum assunto contido no texto ou nessa tarefa?

Sim Não

Qual(is)? _____

Questão 1

Complete com números e unidades de medida. Você pode escolher a unidade que achar mais conveniente em cada caso.

a) O texto cita um exemplo de onda com período de 15s. Qual é a frequência dessa onda? _____

b) Seguindo o mesmo raciocínio desse exemplo, qual seria a frequência de uma onda de período 10s? _____

c) E qual seria a frequência de uma onda de período 20 min? _____

Questão 2

a) Em quais casos ondas no mar transportam matéria (água, objetos, etc.)?

b) O quê uma onda sempre transporta?

Questão 3

Um tsunami de comprimento de onda 200 km e amplitude 80 cm atravessa uma região onde a profundidade do mar é de 5 000 m. Algum tempo depois, um segundo tsunami de comprimento de onda 300 km e amplitude 1,2 m atravessa a mesma região. Assinale a alternativa correta.

a) O primeiro tsunami é mais rápido.

b) O segundo tsunami é mais rápido.

c) Eles devem ter mesma frequência.

d) Eles têm períodos diferentes.

e) Ambos arrastarão até a costa os barcos que encontrarem no caminho.

TEXTO PARA TAREFA 03

CLASSIFICANDO AS ONDAS



Relâmpago e trovão

Relâmpago é o clarão produzido pela descarga elétrica, o brilho que risca os céus numa tempestade. Trovão é o barulho produzido por um raio, que ouvimos depois de vermos o relâmpago. O primeiro é luz, o segundo é som. A observação de experimentos com luz e som levou à conclusão de que ambos são ondas, mas de tipos diferentes. O som é uma onda mecânica, a luz uma onda eletromagnética.



Figura 1. Por que vemos o brilho de um raio e só depois ouvimos o trovão?

Assista ao vídeo de um raio ocorrendo bem próximo às pessoas - o som chega depois do clarão:

https://www.youtube.com/watch?v=DiDLGTWR_VY

Ondas mecânicas são aquelas que se propagam em meios materiais – ou seja, o meio deve ser material, deve ser constituído de matéria¹, para propagar esse tipo de onda. As ondas mecânicas são as oscilações (“vai-e-vem”) periódicas das partículas que constituem o meio. O som é onda mecânica porque as partículas de ar oscilam periodicamente transportando a onda. Ondas no mar e ondas em cordas também são exemplos de ondas mecânicas. Quando uma onda atravessa a água, pequenas porções do líquido fazem um movimento de vai-e-vem na horizontal e na vertical, se ele se repete, esse movimento é periódico (por exemplo, se repete a cada 15 segundos).

Se a oscilação das partículas (o “vai-e-vem”) é na mesma “linha” da velocidade de propagação (ou seja, na mesma direção), a onda é **longitudinal**.

Se a oscilação é perpendicular à velocidade de propagação, a onda é **transversal**.

Ondas longitudinais: visualize na simulação em <http://www.if.ufrj.br/~marta/aplicativos/diapasao.swf> .

Ondas transversais e longitudinais em mola esticada: <https://www.youtube.com/watch?v=y-m8iG5EX2Y>

Para que um meio material possa propagar ondas mecânicas, ele deve ser elástico, ou deve haver alguma força que restaure as posições das partículas (permitindo que a oscilação, o vai-e-vem, passe através do meio). Uma corda esticada é um meio elástico. A película de um tambor também. A água é um meio elástico, mas as ondas no mar se propagam porque a força gravitacional é restauradora e a elasticidade da água neste caso é desprezível, se uma porção de água sobe, essa força faz com que ela retorne à posição em que estava.

Assim, no caso do som, deve existir meio material, porque uma onda sonora se propagando é a própria vibração da matéria se propagando. Por isso se diz que o som não se propaga no vácuo. E não se propaga mesmo. Se fôssemos astronautas flutuando no espaço, em vácuo perfeito, e assistíssemos uma batalha entre naves espaciais, não ouviríamos nenhuma explosão²¹, nenhum

²¹ O espaço sideral não é vácuo perfeito. Há uma baixa densidade de partículas que permite a propagação de ondas mecânicas longitudinais. Mas a frequência é baixa, elas são inaudíveis pelo ser humano. Assim, de acordo com a definição de som que adotamos, essas ondas mecânicas não são ondas sonoras. Para mais detalhes sobre o assunto, consulte a página 15 da dissertação de Mestrado Profissional em Ensino de

barulho de tiros ou raios das naves. Seria um completo silêncio. Isso porque não haveria partículas de matéria para vibrarem. Não ouviríamos nem mesmo um colega astronauta a 1m de nós – seria necessário um comunicador. Isso porque existe outro tipo de onda que não depende de meios materiais para se propagar.

Ondas eletromagnéticas são as que não dependem de meio material para se propagar. Elas podem se propagar pelo ar, pela água, pelo vidro, ou mesmo onde não tenha matéria alguma, ou seja, no vácuo. São muito mais rápidas que as ondas mecânicas. No vácuo, atingem sua velocidade máxima: 300.000 km/s. É com aproximadamente essa velocidade que a informação das emissoras de TV viaja até seu aparelho de TV, já que no ar, a velocidade de propagação dessas ondas é muito próxima da velocidade no vácuo. E que a luz emitida pelo Sol chega até a Terra. É a velocidade da luz, e de todas as ondas eletromagnéticas. Raios-x (usados, por exemplo, para examinar fraturas em ossos) e micro-ondas são outros dois exemplos de ondas eletromagnéticas.

A velocidade de uma onda eletromagnética também depende do meio de propagação. Na água, a luz tem velocidade um pouco menor do que no ar e no vácuo. Mas para qualquer onda eletromagnética, a velocidade máxima é 300.000 km/s (ou seja, no vácuo), que é a velocidade da luz no vácuo.

Por que a denominação “eletromagnética”? Porque essas ondas são variações de efeitos elétricos e magnéticos por onde as ondas passam. Efeitos magnéticos são gerados no espaço próximo a ímãs, por exemplo. Efeitos elétricos ocorrem próximos a objetos com excesso de carga elétrica – esfregando uma caneta no cabelo bem seco e atraindo pedacinhos de papel, por exemplo. Quando esses efeitos são produzidos juntos e de forma que variem periodicamente temos ondas eletromagnéticas.

Os efeitos elétrico e magnético são geralmente simbolizados por E e B, respectivamente. Seu aumento e diminuição são periódicos, o que é característico de uma onda. A Figura 2 mostra o modelo de uma onda eletromagnética.

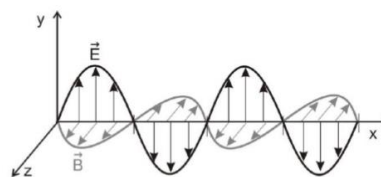


Figura 2. Modelo de onda eletromagnética.
Fonte: VESTIBULAR ACAFE 2013, prova medicina.

Não enxergamos essas setas no espaço, elas são construtos mentais para explicar efeitos que ocorrem na natureza. Como você pode ver representada na figura, a onda eletromagnética é transversal (os valores de E e B aumentam e diminuem perpendicularmente à direção x).

Veja aqui uma simulação de onda eletromagnética: https://www.youtube.com/watch?v=faqsUKd5X_M

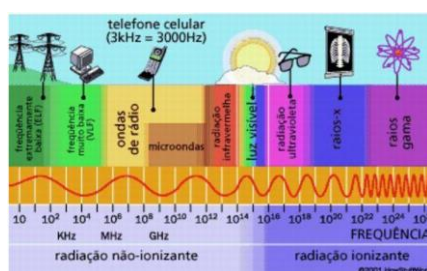


Figura 3. O espectro eletromagnético.

Disponível em:
<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=28159>

Física (UFRJ), de Sergio Tobias da Silva, intitulada PROPAGAÇÃO DO SOM: CONCEITOS E EXPERIMENTOS, disponível em

http://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/dissertacoes/2011_Sergio_Tobias/dissertacao_Sergio_Tobias.pdf .

Espectro eletromagnético é o conjunto organizado das ondas eletromagnéticas. Na Figura 3 estão alguns tipos de ondas: ondas de rádio (antena de transmissão, celular, TV), micro-ondas (forno), infravermelho (controle de TV), luz (lâmpada e olho), ultravioleta (óculos de sol), raios-x (chapa de exame ósseo) e radiação gama (símbolo de radioatividade). Todas são transversais e se propagam com a velocidade da luz.

As ondas de rádio são as mais longas (comprimentos de onda típicos de 1m, 10m, 100m). Logo, *são as de menor frequência*. As ondas gama têm menor comprimento de onda (valores próximos a 0,000 1nm e menores) e são as de maior frequência – portanto, as mais energéticas do espectro. Por isso podem causar danos ao corpo humano e o símbolo de radioatividade é usado para alertar do perigo.

Os nossos olhos só detectam a luz na faixa do visível, uma pequena parte do espectro. Sentimos ondas infravermelhas quando uma lareira nos transmite calor. As outras passam imperceptíveis aos nossos sentidos.

Som

Chamamos de **som** todas as ondas mecânicas longitudinais com frequências entre 20Hz e 20.000 Hz. Essas são as ondas que o aparelho auditivo humano consegue detectar. Ondas semelhantes com frequências abaixo de 20 Hz são chamadas de infrassom e as com frequências acima de 20.000 Hz (ou 20 kHz) de ultrassom. Ondas nessa faixa de frequência não são audíveis pelo ser humano, mas alguns animais podem ouvi-las. Ondas de ultrassons são usadas no exame de ultrassonografia, que você provavelmente já deve ter ouvido falar. Elas atravessam os tecidos do corpo humano, mostrando o que há sob a pele e os músculos (esse exame não é feito somente para gravidez, pode-se fazer ultrassonografia de rins e bexiga, por exemplo). Esse tipo de onda também é usado por navios e submarinos (sonar) e para análise de composição do subsolo.

Infrassons são usados para analisar mudanças atmosféricas, atividade de vulcões e tornados, e para monitorar o uso de armas nucleares. O Tratado Completo de Proibição de Testes Nucleares foi assinado em 1996 e proíbe testes com explosões nucleares. Essas explosões liberam infrassons que podem ser detectados a grandes distâncias, o que auxilia o monitoramento do cumprimento desse tratado.

A velocidade do som (e do infrassom e do ultrassom) depende do meio de propagação, assim como ocorre para qualquer onda. No ar próximo à superfície da Terra, a 20°C e no nível do mar, a velocidade do som é de 340 m/s (1224 km/h), aproximadamente. Na água, a velocidade das ondas sonoras fica em torno de 1500 m/s (5400 km/h).

Aviões supersônicos, *sonic boom* e ondas de choque

Assista: "Quebrando a barreira do som", em <https://www.youtube.com/watch?v=U3aGfUF5bXk>

"Onda de choque em erupção vulcânica", em <https://www.youtube.com/watch?v=HgHWbo8JIzc>

Aviões que ultrapassam a velocidade de propagação do som no ar (mais de 1200 km/h) são chamados de supersônicos. Quando tal avião voa com velocidade superior a do som no ar, o ar é comprimido fortemente na sua frente e o rarefazendo na sua traseira, gerando uma onda mais rápida do que normalmente ocorre no ar (onda de choque). A compressão e descompressão do ar condensa a umidade, gerando um cone de nuvem (gotículas de água) atrás do avião. O físico Ernest Mach mediu a velocidade do som pela primeira vez. O *sonic boom* é o estrondo que uma pessoa escuta quando a onda de choque chega até ela.

TAREFA 03 – Tarefa de Leitura

Nome: _____ 2ª série _____

A tarefa deve ser entregue na segunda-feira (dia _____), ANTES da aula de Física.

*Conceitos abordados nesta
 tarefa: ondas mecânicas e
 eletromagnéticas,
 transversais e longitudinais,*

Questão 1

Em situações de trabalho, por exemplo, de comunicação entre dois funcionários em uma fábrica com grandes galpões, é mais econômico que usem rádios comunicadores do que telefones celulares. São os chamados “walkie talkies”. Considerando o texto que você leu, você acha que as ondas que levam a informação de um rádio comunicador para outro são mecânicas ou eletromagnéticas? Por quê?

SUA OPINIÃO

1. Você considerou algo do texto confuso ou difícil de entender?

Sim Não

O quê? _____

2. Você gostaria que houvesse maior tempo em aula para explicação de algum assunto contido no texto ou nessa tarefa?

Sim Não

Qual(is)? _____

Questão 2

Marque V para verdadeiro e F para falso nas afirmações a seguir.

Ondas mecânicas são sempre longitudinais.

Ondas sonoras são sempre longitudinais.

Ondas luminosas são transversais.

No caso de ondas se propagando em um corda, cada pequena parte da corda se move para cima e para baixo, enquanto a onda se propaga na linha da corda. Por isso, essa onda é transversal.

Tanto ondas mecânicas quanto ondas eletromagnéticas podem ser transversais ou longitudinais.

Questão 3

Assista novamente o vídeo “Erupção explosiva de vulcão e onda de choque” (em <https://www.youtube.com/watch?v=HgHWbo8Jlzc>). A onda produzida na erupção é mecânica ou eletromagnética? O que lhe ajudou a escolher sua resposta?

TEXTO PARA TAREFA 04**ONDAS LUMINOSAS**

Figura 1 – Isaac Newton e a decomposição da luz

O que é a luz?

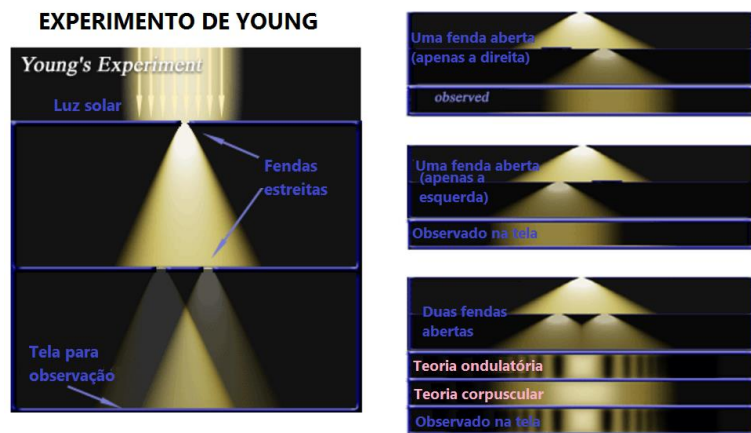


Uma das pessoas que se preocupou com essa questão foi Isaac Newton (1642 – 1727). Ele criou uma explicação na qual a luz era composta de partículas (um modelo *corpúscular*, palavra esta que vem de *corpúsculo*, ou seja, corpo muito pequeno). Christiaan Huygens (1629 – 1695) discordava da explicação de Newton. Para Huygens, a luz era um tipo de onda. Newton era muito conhecido e tinha autoridade no que se referia à Física, devido ao enorme êxito de seu trabalho na Mecânica. Assim, o modelo corpúscular da luz permaneceu como o melhor modelo por mais de um século. Mas Thomas Young (1773 – 1829) resolveu a questão fazendo um experimento que se tornou um dos mais importantes da Física: o experimento da fenda dupla. Ele fez um

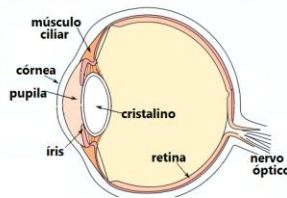
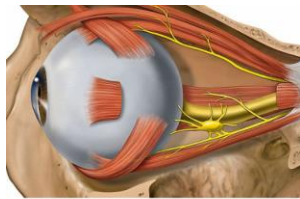
feixe de luz passar por duas fendas em uma placa, duas fendas muito estreitas e muito próximas uma da outra. Colocando um anteparo (uma tela branca, por exemplo) do outro lado das fendas ele viu a formação de várias linhas claras e escuras, e não só duas linhas claras provenientes das fendas.

Figura 2 – A experiência de Thomas Young: luz atravessando duas fendas.

Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Experi%C3%Aancia_da_dupla_fenda Acesso em: 05 jun. 2016.



Isso ocorre também com ondas na água que passam por uma barreira com duas fendas. Estava ali reconhecido os fenômenos da difração e da interferência, característico de ondas. Estava demonstrado, portanto que o melhor modelo para explicar a luz era o ondulatório, ou seja, que a luz é onda. Na Ciência, a autoridade de uma pessoa reconhecida não é suficiente para determinar a melhor teoria. A melhor teoria deve ser apoiada por resultados experimentais, os fatos – é a natureza quem deve dar a última palavra.



Mas que tipo de onda a luz é? Estudamos na semana anterior o espectro eletromagnético. A luz é uma onda eletromagnética. É a onda eletromagnética que células na nossa retina conseguem detectar e transformar em informação para o nosso cérebro. Interpretamos cada frequência como uma cor diferente. Células chamadas cones, localizadas na nossa retina (ver localização da retina na Figura 3), conseguem diferenciar algumas frequências. Ondas de diferentes frequências podem se sobrepor e gerar uma infinidade de tonalidades que enxergamos. A falta de luz é interpretada pelo nosso cérebro

como cor preta – escuridão.

Figura 3 – O olho humano.

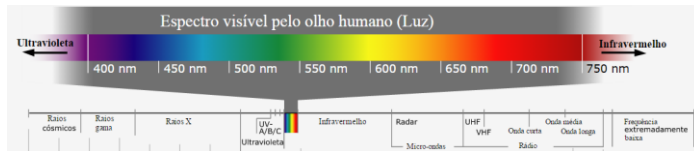
TEXTO PARA TAREFA 04

Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/Human_eye Acesso em: 05 jun. 2016.

Portanto, luz é a parte visível (para seres humanos) do espectro eletromagnético. É uma parte pequena em comparação com todo o espectro. Isso quer dizer que podemos detectar apenas poucos tipos de ondas das que estão viajando por aí. Somos cegos para o resto do espectro eletromagnético a olho nu (podemos sentir as ondas infravermelhas, por exemplo, quando nos sentimos aquecidos pelo Sol ou por uma fogueira próxima).

Figura 4 – O espectro visível e sua localização no espectro eletromagnético.

Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Espectro_eletromagnético-pt.svg?uselang=pt Acesso em: 05 jun. 2016.



O espectro visível é o conjunto das ondas de luz acima, organizadas por frequência (ou comprimento de onda). Quanto maior a frequência (Hz), menor o comprimento de onda (m). A energia transportada pela onda é tanto maior quanto for sua frequência.

Vídeo: *El espectro electromagnético 05 Luz visible NASA (español)*, disponível em https://www.youtube.com/watch?v=YCWvxv_nmQ

Figura 5 – As linhas negras no espectro visível da luz solar.



O Sol é um emissor de ondas eletromagnéticas. Algumas pessoas perceberam que o espectro visível emitido por ele apresentava linhas escuras. A primeira pessoa que fez um estudo detalhado e categorizou essas linhas foi Joseph von Fraunhofer (1787 – 1826). Por isso, essas linhas são chamadas *linhas de Fraunhofer* (são as linhas escuras entre as cores na Figura 5).

Em 1860, aproximadamente, Kirchoff e Bunsen descobriram que cada elemento químico estava associado a um conjunto de linhas espectrais, e perceberam que as linhas negras no espectro do Sol correspondiam a elementos na superfície do Sol (comparamos com linhas espectrais de luz atravessando gases desses elementos, na Terra). Foi o nascimento de um novo campo de estudo: a espectroscopia, que possibilitou um enorme avanço no conhecimento de estrelas, planetas e outros corpos no universo. Ao observar o espectro de uma estrela e suas linhas negras, é possível saber que elementos estão presentes nas camadas externas dessa estrela.

Quando Thomas Young fez o experimento da fenda dupla, sua motivação era entender o comportamento da luz, porque o objetivo de um cientista é ampliar o conhecimento que a humanidade tem da natureza. Muitas pessoas podem ter dito, como hoje dizem para outros experimentos: “mas para quê isso serve?”. Ampliar o conhecimento, por si só, já é motivo suficiente. Mas percebemos, com esse texto, que a busca de conhecimento pode trazer benefícios que nem poderíamos imaginar previamente. Será que Thomas Young imaginou que a teoria ondulatória da luz seria capaz de nos revelar do que são feitas as estrelas?

Para saber mais:

- *Artigo: Uma nova visão da luz: construa seu próprio espectrômetro. Publicado na revista Science in School, em 2007. Disponível em: <http://www.scienceinschool.org/2007/issue4/spectrometer/portuguese>.*
- *Página da internet: Astronomia e astrofísica. O Sol – a nossa estrela. UFRGS. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/esol/esol.htm>.*
- *Página da internet: Experimento da Fenda dupla de Young. Prof. Carlos Alberto dos Santos. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/historia/young.html>.*

TAREFA 04 – Tarefa de Leitura

Nome: _____ 2ª série _____

A tarefa deve ser entregue na segunda-feira (dia _____), ANTES da aula de Física.

*Conceitos abordados nesta
 tarefa: luz, espectro visível,
 espectro de emissão do Sol.*

*Antes, leia o texto de apoio
 anexo a esta tarefa.*

SUA OPINIÃO

1. O quê você considerou confuso ou muito difícil de entender no texto?

2. Para quais assuntos (relacionados a esse texto) você gostaria que houvesse maior tempo em aula para explicação?

Questão 1

Por que o modelo ondulatório da luz foi considerado melhor que o corpuscular?

- A. Porque Thomas Young tinha mais prestígio que Newton junto aos cientistas da época.
 B. Porque o experimento da fenda dupla mostrou que a luz se comportava como onda.
 C. Porque Young apresentou argumentos teóricos que mostraram que a teoria corpuscular não era a melhor teoria para a luz.
 D. Porque Fraunhofer identificou linhas negras no espectro de emissão do Sol.

Questão 2

2.1. Procure na internet uma figura do espectro visível das ondas eletromagnéticas. Observe-a e identifique a cor correspondente a cada comprimento de onda indicado (a mais próxima que você conseguir identificar).

- a) 450 nm → cor: _____
 b) 700 nm → cor: _____
 c) 580 nm → cor: _____
 d) 520 nm → cor: _____

2.2. Qual dessas ondas tem maior frequência? Justifique.

QUESTÃO 3

Podemos enxergar todas as ondas emitidas pelo Sol? Justifique. _____

TEXTO PARA TAREFA 05

REFLEXÃO E REFRAÇÃO DE ONDAS



Reflexão e refração são dois fenômenos físicos que ocorrem com ondas. Vamos diferenciá-los.

Reflexão

Já estudamos que o fenômeno luz pode ser representado como uma onda eletromagnética. No cotidiano, é comum identificarmos situações onde a luz se reflete. Como descrever a reflexão pensando na luz como onda? Dizemos que ocorre reflexão quando uma onda se propaga em determinado meio, encontra uma superfície de separação de outro meio (uma interface entre dois meios) e **retorna para o meio onde se propagava**. Exemplo: quando você vê sua imagem (reflexo) na água, a luz que incide em você propaga-se no ar, encontra a interface ar/água e retorna para o ar (Figura 1a) chegando ao seu olho. Outro exemplo, usando o som, onda mecânica, que precisa de um meio para se propagar, é o eco: quando uma pessoa ouve um eco (Figura 1b), significa que o som emitido foi refletido em alguma superfície e retornou propagando-se pelo ar.

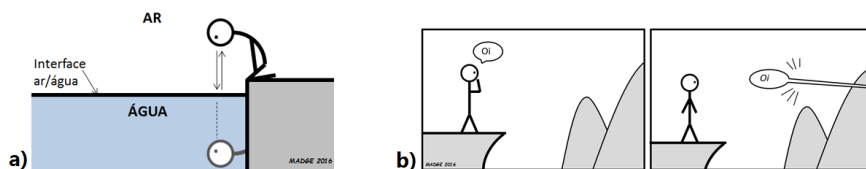


Figura 1 – a) Reflexão da luz na superfície da água, b) reflexão de ondas sonoras, produzindo eco.

Quando uma onda se propaga em uma corda ou em uma mola, é comum observarmos o comportamento da onda refletida de acordo com a extremidade onde a onda incide, seja ela fixa ou móvel. Veja a explicação no vídeo:

Título do vídeo no YouTube: "Ond: reflexão de pulsos unidimensionais.wmv"

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=nPAXs9cAvbA>

No vídeo, é mostrada a produção de um pulso. Um pulso de onda também é uma perturbação que se propaga em um meio, mas não é periódica, ou seja, a perturbação ocorre uma vez e se propaga no meio. O pulso tem a metade do comprimento de onda de uma oscilação completa. Ondas na água também sofrem reflexão. **A reflexão é um fenômeno característico de todos os tipos de ondas.**

Refração



Figura 2 – refração da luz. Extraída de Vestibular UFSC 2009.

Na refração, uma onda se propaga em determinado meio, encontra uma superfície de separação de outro meio (interface) e atravessa essa superfície, **passando a se propagar no outro meio**. Ocorre então uma mudança de meio de propagação. Exemplo: quando vemos uma colher parcialmente mergulhada em água (Figura 2), ela parece estar quebrada, ou deformada. Isso ocorre devido ao desvio da direção de propagação da luz dentro da água.

Veja um vídeo mostrando essa situação:

Título do vídeo no YouTube: "Física Animada-Refração da Luz.Part.2"

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=qsMpgD2aZao>

A refração também é um fenômeno que ocorre com todos os tipos de ondas.

Como há uma mudança de meio, há, necessariamente, uma mudança de velocidade de propagação das ondas. A direção de propagação não será alterada se ela for perpendicular (isto é, fizer um ângulo de 90°) com a superfície de separação (Figura 3).

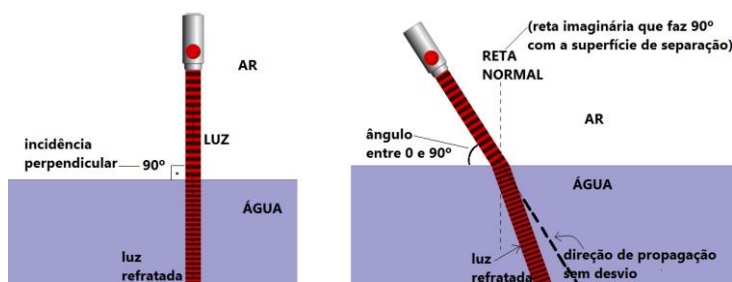


Figura 3 – Refração sem desvio (incidência perpendicular) e com desvio (incidência oblíqua).

Veja um vídeo com experiência do Manual do Mundo sobre refração:

Título do vídeo no YouTube: "Como entortar raios de luz com açúcar"

Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=qgkSfAfyt30>

No caso de ondas na água rasa, a mudança de profundidade é uma mudança no meio de propagação embora a substância (água) permaneça a mesma. Assim, quando uma onda se propaga de uma parte mais funda para outra mais rasa, há a refração – a onda muda de velocidade e pode se desviar da direção de propagação (é por isso que as ondas no mar sempre chegam com as frentes paralelas, ou quase paralelas, à faixa de areia).

A redução (ou aumento) da velocidade de propagação de uma onda, na refração, é indicada por uma grandeza chamada índice de refração (simbolizada pela letra n). O índice de refração entre dois meios quaisquer é a divisão da velocidade da onda em um meio pela velocidade da onda no outro meio. Isso é o índice de refração relativo (porque é relativo apenas a esses dois meios).

Quando tratamos da refração da luz, é comum utilizarmos o índice de refração absoluto (n) como a divisão entre a velocidade da luz no vácuo (ou no ar), c , pela velocidade da luz em outro meio, v . Esse valor de n é o índice de refração absoluto da luz para aquele meio.

$$n = \frac{\text{velocidade da luz no vácuo (ou ar)}}{\text{velocidade de luz em determinado meio}} \quad \rightarrow \quad n = \frac{c}{v}$$

Para o ar, o índice de refração da luz (e de qualquer onda eletromagnética) é 1, porque v é um valor muito próximo de c . Para qualquer outro meio material, v é menor que c , e n será sempre maior que 1. O índice de refração absoluto da água é, aproximadamente, 1,3. O índice de refração é uma grandeza adimensional, ou seja, sem unidade de medida. As velocidades c e v devem estar na mesma unidade de medida para efetuarmos a divisão.

Estudamos reflexão e refração de ondas separadamente, mas elas podem ocorrer juntas. Quando a luz incide do ar para a água, por exemplo, parte dela reflete e parte refrata. É importante ressaltar ainda que, na reflexão, velocidade, frequência e comprimento de onda não se alteram. **Na refração sempre ocorre mudança no valor da velocidade.**

Para saber mais:

- Página da internet: **Reflexão de ondas em uma corda**. Brasil Escola. Disponível em: <http://brasilescuela.uol.com.br/fisica/reflexao-onda-uma-corda.htm> .
- Página da internet: **Refração**. UFRGS. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20021/Roussel/refra_c_menu_1.html.

TAREFA 05 – Tarefa de Leitura

Nome: _____ 2ª série _____

A tarefa deve ser entregue na segunda-feira (dia _____), ANTES da aula de Física.

Conceitos abordados nesta tarefa: reflexão e refração de ondas.

Antes, leia o texto de apoio anexo a esta tarefa.

Questão 1

Sobre o índice de refração, é INCORRETO afirmar que:

- A. Indica mudança de velocidade de propagação.
- B. Indica mudança da frequência da onda em meios diferentes.
- C. É uma grandeza adimensional.
- D. É obtido pela divisão das velocidades das ondas nos dois meios (o de incidência e o de refração).

Questão 2

Na refração, ocorre mudança de velocidade de propagação das ondas. O que ocorre com a frequência e com o comprimento de onda de uma onda que sofreu refração (isto é, mudou de meio de propagação)? Eles sofrem alteração? Justifique.

Questão 3

No vídeo “Ond: reflexão de pulsos unidimensionais.wmv”, observa-se a reflexão de pulsos de onda. Descreva o que ocorre com o pulso na situação em que uma extremidade da mola está presa (fixa) no pé de um banco e depois na situação em que o banco é retirado.

SUA OPINIÃO

1. O quê você considerou confuso ou muito difícil de entender no texto?

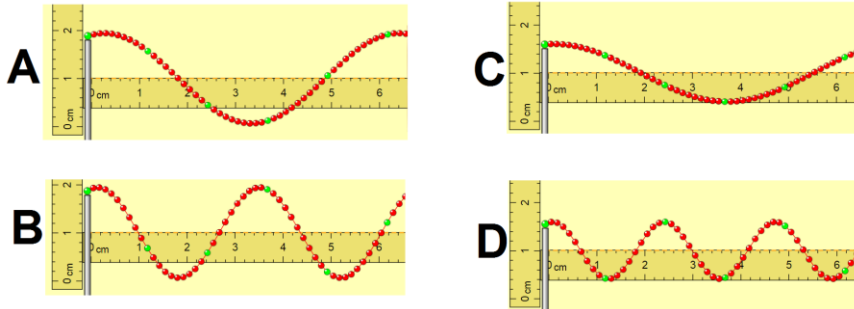
2. Para quais assuntos (relacionados a esse texto) você gostaria que houvesse maior tempo em aula para explicação?

APÊNDICE B – TESTES CONCEITUAIS

Neste apêndice estão todos os Testes Conceituais desenvolvidos. Alguns não foram utilizados na aplicação descrita neste trabalho.

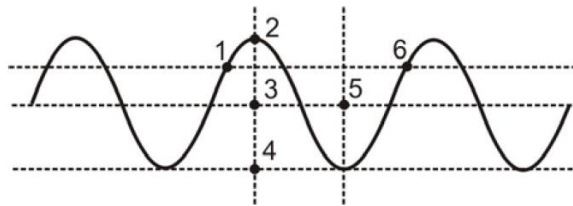
Sobre comprimento de onda, elongação e amplitude.

TC 1.1) As figuras a seguir representam quatro ondas se propagando em cordas idênticas. Em qual delas o **comprimento de onda** é maior?



TC 1.2) (Adaptado de ACAFE 2012) A figura abaixo representa uma onda que se propaga em um meio com velocidade constante.

O comprimento de onda está contido entre os pontos



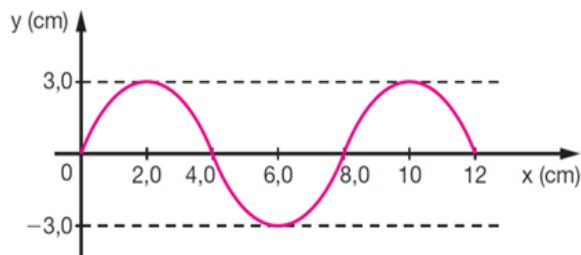
A) 1 e 6

B) 2 e 6

C) 2 e 4

D) 2 e 3

TC 1.3) (Adaptado de UEL-PR) Numa corda, uma fonte de ondas realiza um movimento vibratório. O diagrama mostra, num determinado instante, a forma da corda percorrida pela onda. O comprimento de onda vale:



A) 12 cm

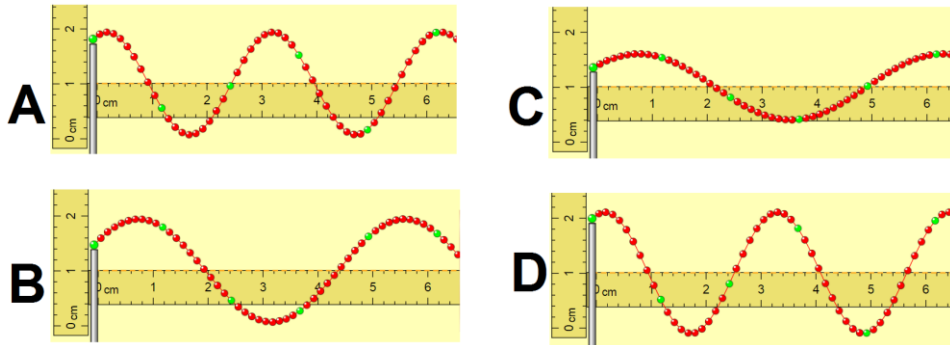
B) 4 cm

C) 3 cm

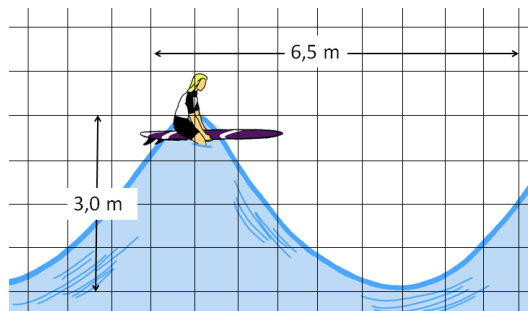
D) 8 cm

TC 1.4) As figuras a seguir representam quatro ondas se propagando em cordas idênticas.

A amplitude é menor em:

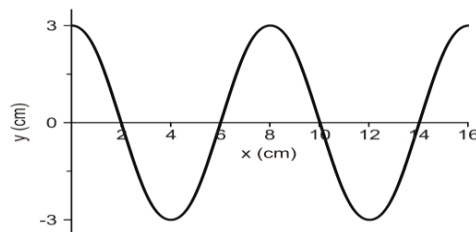


TC 1.5) A amplitude da onda na figura vale:



- A) 1,5 m B) 3,0 m C) 6,5 m D) 75 cm

TC 1.6) (UFRGS 2013, pergunta modificada) Uma onda transversal propaga-se com velocidade constante numa corda tensionada.



A elongação de um ponto na corda NÃO pode assumir o valor:

- A) 3,0 cm B) 4,0 cm C) 1,0 cm D) 2,5 cm

Sobre o conceito de onda, velocidade de propagação de uma onda, características do meio como fator determinante da velocidade de propagação e transporte de energia.

TC 2.1) Uma *ola* em estádio de futebol tem semelhanças com um movimento de onda. As pessoas constituem o meio pelo qual a *ola* (perturbação) se propaga.

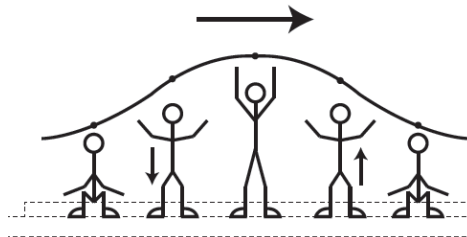
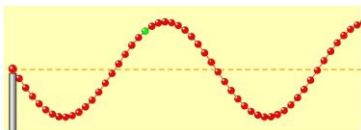


Figura extraída da prova Enem 2013

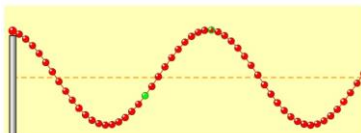
Qual alternativa indica uma **semelhança** entre *ola* e onda?

- A) As partículas do meio são levadas pela *ola*.
- B) As partículas podem não continuar a *ola*, não há algo físico que as obrigue a continuar o movimento.
- C) O movimento de subida e descida das partículas do meio é o que passa através do meio.
- D) A *ola* pode desaparecer repentinamente.

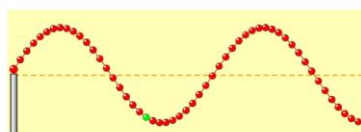
TC 2.2) As figuras a seguir estão em sequência no tempo. A bolinha verde é uma parte da corda, uma das partículas do meio (o meio é a corda). O movimento da bolinha verde na corda mostra que:



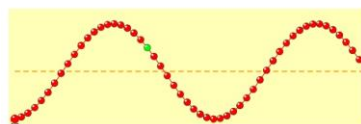
A) o movimento das bolinhas na corda é desorganizado.



B) a bolinha verde se desloca para a direita, levada pela onda.

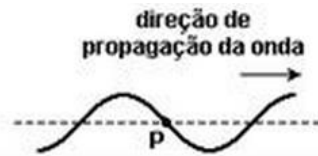


C) a onda vai para frente, as partículas do meio não.



D) a corda se move para frente junto com a onda.

TC 2.3) (adaptado de UFMG) Enquanto brinca, Gabriela produz uma onda transversal em uma corda esticada. Em certo instante, parte dessa corda tem a forma mostrada na figura a seguir. A direção de propagação da onda na corda também está indicada na figura.



A onda passa pelo ponto P sobre a corda. No instante imediatamente posterior ao representado na figura, P estará:

- A) mais acima
- B) mais abaixo
- C) mais à esquerda
- D) mais à direita

TC 2.4) Uma onda qualquer no mar **necessariamente** transporta:

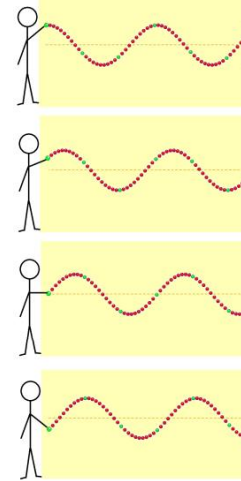
- A) água do alto mar até a costa.
- B) objetos que estejam no caminho da onda (ex. prancha de surf, pessoas), levando-os até a praia.
- C) energia que causa o movimento das partículas de água por onde a onda passa.
- D) Um surfista, desde a região antes da arrebentação até a costa.

TC 2.6) Considere uma piscina coberta, sobre a qual há uma goteira, em um dia de chuva. A profundidade da piscina não varia. Caem duas gotas a cada segundo. As gotas formam ondas circulares na superfície da água da piscina. Essas ondas propagam-se com velocidade de 50cm/s. A chuva fica menos intensa e passa a cair apenas uma gota por segundo. O que acontece com a velocidade das ondas na piscina?

- A) Permanece de 50cm/s.
- B) Passa a ser maior que 50cm/s.
- C) Passa a ser menor que 50cm/s.
- D) Não há informação suficiente para responder.

TC 2.9) Uma pessoa agita a extremidade de uma corda tensionada (esticada), conforme a figura. Se a pessoa agitar a mão mais rapidamente, o que acontecerá?

- A) A onda se propagará com maior velocidade.
- B) A onda se propagará com a mesma velocidade.
- C) As partículas da corda subirão e descerão com menor velocidade.
- D) A onda se propagará com menor velocidade.



TC 2.10) Uma pessoa segura uma corda esticada (figura

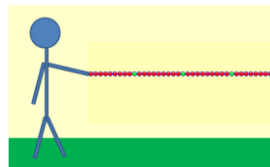


Figura 1

A pessoa agita a corda provocando ondas (figura 2). Depois, ela agita novamente a mesma corda, esticada do mesmo jeito, mas levantando e abaixando mais o braço, fazendo ondas mais “altas” (figura 3).

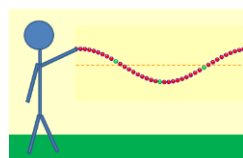


Figura 2

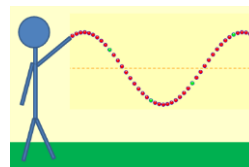


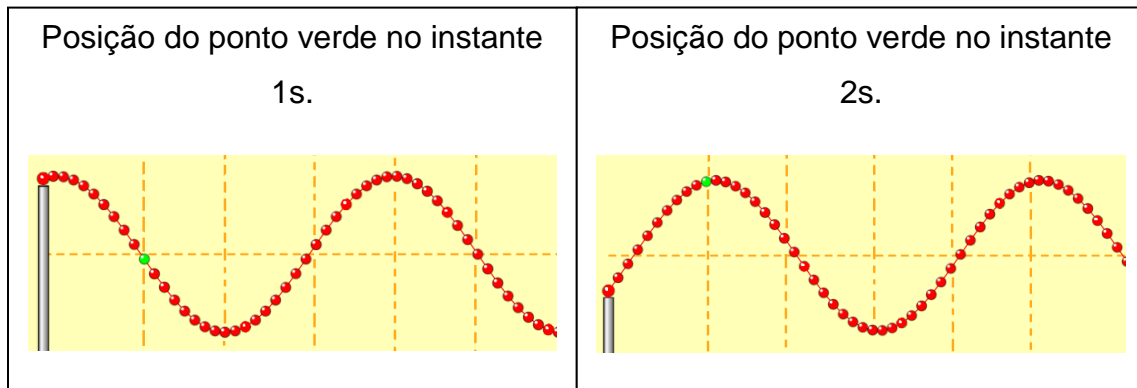
Figura 3

Comparando as velocidades de propagação dessas ondas:

- A) As velocidades são iguais.
- B) A velocidade da onda na fig. 3 é maior que na fig. 2.
- C) A velocidade da onda na fig. 2 é maior que na fig. 3.
- D) A velocidade da onda na fig. 3 será tanto maior quanto maior for a amplitude em relação à da fig. 2.

Sobre frequência e período

TC 4.1) Um oscilador agita a extremidade de uma corda esticada produzindo ondas. Uma parte da corda é pintada de verde.



Qual é o período das ondas?

- A) 4 s B) 2 s C) 0,5 s D) 0,25 s

TC 4.2) Uma goteira está sobre uma piscina e produz ondas na superfície da água. Caem 2 gotas por segundo. Numa situação posterior, caem 5 gotas por segundo. As ondas produzidas nessa segunda situação terão:

- A) maior período que na primeira situação.
 B) menor período que na primeira situação.
 C) o mesmo período que na primeira situação.
 D) maior velocidade que na primeira situação.

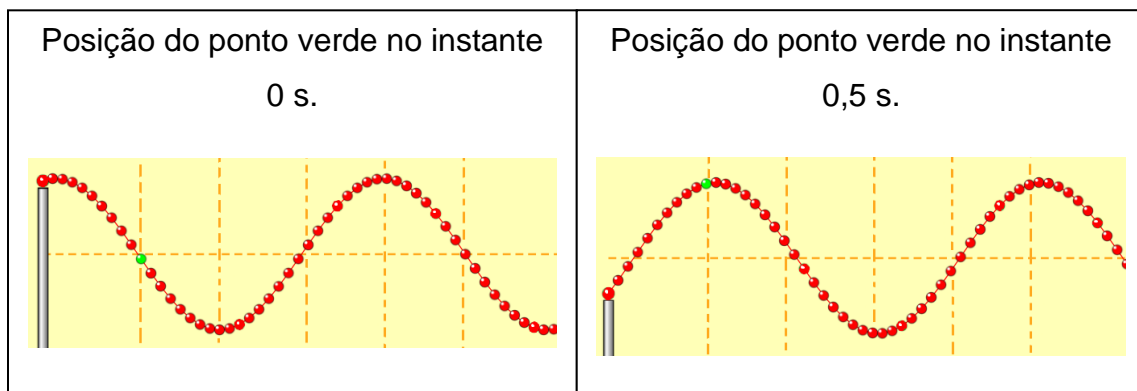
TC 4.3) Um surfista, sentado em sua prancha, encontra-se fora da região de arrebentação das ondas. No instante representado na figura, a crista de uma onda passa por ele.



Se o período dessas ondas é de 12 segundos, qual o menor intervalo de tempo até o surfista estar no fundo da calha da onda?

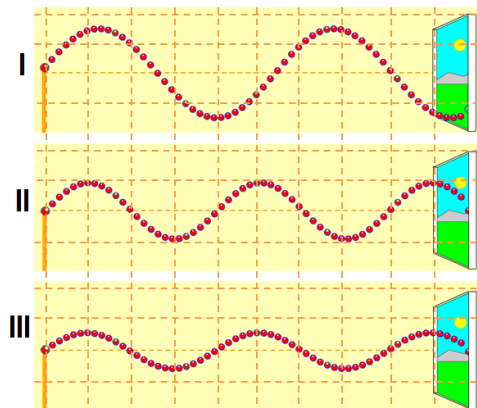
- A) 6 s B) 3 s C) 9 s D) 12 s

TC 4.4) Um oscilador agita a extremidade de uma corda esticada produzindo ondas. Uma parte da corda é pintada de verde.



- A) 4 Hz B) 2 Hz C) 0,5 Hz D) 0,25 Hz

TC 4.6) A figura a seguir representa um instante em que ondas se propagam em três cordas idênticas. É correto afirmar que:



- A) I possui maior frequência que II.
 B) As frequências de I e III são iguais.
 C) II tem menor frequência que III.
 D) I tem menor frequência que III.

Sobre situações em que a frequência da onda é alterada, analisar o que ocorre com a velocidade de propagação da onda.

TC6.1) (PUC-MG 2015) Estações de rádio operam em frequências diferentes umas das outras. Considere duas estações que operam com frequências de 600 quilohertz e de 900 quilohertz. Assinale a afirmativa CORRETA.

- A) Essas estações emitem ondas com o mesmo comprimento.
- B) As ondas emitidas por elas propagam-se com a mesma velocidade no ar.
- C) A estação que opera com menor frequência também emite ondas de menor comprimento.
- D) A velocidade de propagação das ondas emitidas pela estação que opera com 900 quilohertz é 1,5 vezes maior que a velocidade das ondas emitida pela outra estação.

TC6.2) Uma onda sonora propaga-se no ar com velocidade de aproximadamente 340 m/s. Se aumentarmos a frequência desse som, a sua velocidade:

- A) permanecerá a mesma, pois só depende das características do ar no qual ela se propaga
- B) Aumentará, de acordo com a equação $v = \lambda f$, quanto maior a frequência, maior a velocidade.
- C) Diminuirá, de acordo com a equação $v = \lambda f$, quanto menor a frequência, maior a velocidade.
- D) Não é possível afirmar, pois não se sabe o que ocorre com o período.

TC6.3) Um instrumento musical emite uma onda sonora de frequência 500 Hz que propaga-se no ar. Ao aumentar a frequência para 600 Hz, a velocidade de propagação da onda:

- A) Não se altera, já que continua se propagando no ar.
- B) Aumenta, pois a equação $v = \lambda f$ informa que a velocidade aumenta se a frequência aumentar.
- C) Diminui, pois a equação $v = \lambda f$ informa que a velocidade diminui se a frequência aumentar.
- D) Não é possível determinar o que ocorre com a velocidade, pois não se sabe o que acontece com o comprimento de onda.

TC7.1) (Adaptado de UFSM 2006) Quando o badalo bate num sino e o faz vibrar comprimindo e rarefazendo o ar nas suas proximidades, produz-se uma onda sonora. As ondas sonoras no ar são _____. A velocidade das ondas sonoras em outro meio é _____.

Selecione a alternativa que preenche corretamente as lacunas.

- A) eletromagnéticas - igual
- B) mecânicas- igual
- C) mecânicas - diferente
- D) eletromagnéticas - igual

TC7.2) Ondas estão envolvidas de várias formas em processos de comunicação. Quando ouvimos uma estação de rádio em um aparelho celular, por exemplo, as chamadas ondas de rádio são ondas:



- A) eletromagnéticas, que saem da antena transmissora e chegam ao receptor.
- B) mecânicas, que são emitidas pelo aparelho e chegam aos nossos ouvidos – o som emitido pelo rádio.
- C) eletromagnéticas, que são emitidas pelo aparelho e chegam aos nossos ouvidos – o som emitido pelo rádio.
- D) mecânicas, que saem da antena transmissora e chegam ao receptor e, posteriormente, são emitidas pelo aparelho e chegam aos nossos ouvidos – o som emitido pelo rádio.

TC7.3) (Adaptado de UFPel) Recentemente o físico Marcos Pontes se tornou o primeiro astronauta brasileiro a ultrapassar a atmosfera terrestre.

Diariamente existiam contatos entre Marcos e a base, e alguns deles eram transmitidos através dos meios de comunicação.

Com base no texto e em seus conhecimentos, é correto afirmar que conseguíamos "ouvir" e "falar" com Marcos porque, para essa conversa, estavam envolvidas

- A) apenas ondas mecânicas, já que estas se propagam, tanto no vácuo como no ar.
- B) apenas ondas eletromagnéticas, já que estas se propagam, tanto no vácuo como no ar.
- C) ondas eletromagnéticas, que apresentam as mesmas frequências, velocidade e comprimento de onda, ao passar de um meio para outro.
- D) ondas mecânicas, que apresentam as mesmas frequências, velocidade e comprimento de onda, ao passar de um meio para outro.
- E) tanto ondas eletromagnéticas, que se propagam no vácuo, como ondas mecânicas, que necessitam de um meio material para a sua propagação.

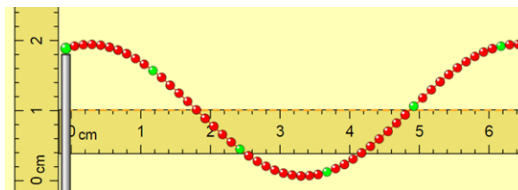
TC7.4) (Adaptado de UFSM 2012) A presença e a abrangência dos meios de comunicação na sociedade contemporânea vêm introduzindo elementos novos na relação entre as pessoas e entre elas e o seu contexto. Rádio, televisão e telefone celular são meios de comunicação que utilizam ondas eletromagnéticas. Assinale a alternativa INCORRETA sobre as propriedades das ondas eletromagnéticas.

- A) só podem se propagar no vácuo.
- B) propagam-se em meios materiais.
- C) transportam energia e não matéria.
- D) todas propagam-se com a velocidade da luz no vácuo.

TC7.5) Sobre as ondas sonoras, assinale a alternativa CORRETA:

- A) transportam matéria e energia
- B) propagam-se em meios materiais e também no vácuo
- C) são tão rápidas quanto a luz
- D) propagam-se na água

TC7.6) A figura a seguir representa ondas se propagando, para a direita, em uma corda



Essas ondas são transversais porque:

- A) Cada bolinha verde, por exemplo, se move para cima e para baixo e não para frente.
- B) Cada bolinha verde, por exemplo, se move para cima e para baixo e também para frente e para trás.
- C) A direção do movimento de cada bolinha é igual à direção do movimento de propagação da onda.
- D) é uma onda mecânica, e toda onda mecânica é transversal.

TC7.7) (Adaptado de UFSM 2006) Quando o badalo bate num sino e o faz vibrar comprimindo e rarefazendo o ar nas suas proximidades, produz-se uma onda sonora. Esse movimento de compressão e rarefação da onda na direção de propagação caracteriza uma onda _____.

Selecione a alternativa que preenche corretamente as lacunas.

- A) transversal
- B) mecânica
- C) longitudinal
- D) eletromagnética

TC7.8) (Adaptado de UDESC 2014) Assinale a alternativa INCORRETA a respeito dos fenômenos ondulatórios.

- A) O som é uma onda mecânica longitudinal.
- B) Se uma das extremidades de uma corda tensionada passar a vibrar verticalmente, produzirá ondas longitudinais.
- C) Uma onda ultrassônica é transversal.
- D) Em uma mola maluca, uma onda propaga-se na direção do comprimento da mola, com os anéis se comprimindo e se afastando para propagar a onda. Essa onda é longitudinal.

Sobre características de ondas sonoras.

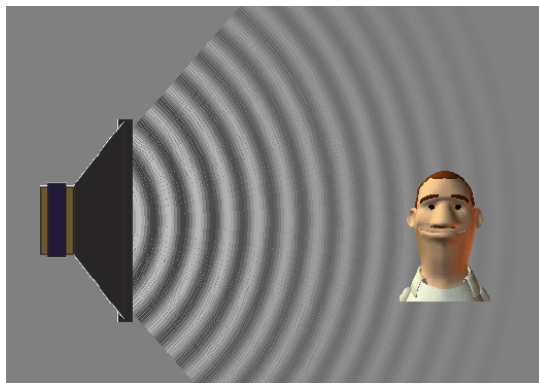
TC9.2) Dois sons são emitidos, um de frequência 300 Hz e outro de frequência 500 Hz. Considerado apenas estas informações, é correto afirmar que:

- A) Eles foram produzidos por instrumentos diferentes.
- B) Eles se propagam com velocidades diferentes.
- C) O de 500 Hz é mais intenso.
- D) O de 500 Hz é mais agudo.

TC9.3) O ar tem diversos componentes (oxigênio, nitrogênio, gás carbônico, vapor d'água, entre outros). Uma onda sonora se propaga através do ar em determinada região. Considere uma partícula nessa região. Qual alternativa descreve melhor o movimento de uma partícula do meio por onde passa?

- A) A partícula segue a mesma direção de movimento da onda sonora, sendo levada pela onda.
- B) A partícula faz um movimento de vai e vem na direção de propagação da onda quando a onda passa por ela.
- C) A partícula faz um movimento de vai e vem perpendicular à direção de propagação da onda quando a onda passa por ela.
- D) A partícula faz um movimento de vai e vem na direção de propagação da onda enquanto é levada pela onda.

TC9.4) Lineu está próximo a um alto-falante que emite ondas sonoras de frequência 500 Hz, conforme representado na figura.



Lineu pode ouvir o som emitido pelo alto-falante porque:

- A) O alto-falante produz zonas de pressão no ar e estas se propagam até ouvido de Lineu.
- B) O ar próximo ao alto-falante se desloca do aparelho até o ouvido de Lineu.
- C) O ar próximo ao alto-falante movimenta-se para cima e para baixo enquanto segue até o ouvido de Lineu.
- D) O alto-falante produz zonas de pressão que fazem o ar próximo a ele chegar ao ouvido de Lineu.

TC9.5) (UFPel-RS, modificada) A tabela abaixo apresenta as frequências, em hertz, dos sons fundamentais de notas musicais produzidas por diapasões que vibram no ar em um mesmo ambiente.

Nota	dó	dó#	ré	ré#	mi	fá	fá#	sol	sol#	lá	lá#	si
F(Hz)	261,7	277,2	293,7	311,2	329,7	349,2	370,0	392,0	415,3	440,0	466,2	493,9

A partir das informações fornecidas, podemos afirmar que:

- A) O som lá se propaga com maior velocidade que o som ré.
- B) O som si é mais grave do que o som mi.
- C) O som fá se propaga com menor velocidade que o som ré.
- D) O som sol é mais alto do que o som dó.

TC9.6) (FEI-SP, modificada) Considerando as faixas audíveis para os animais mencionados a seguir, podemos afirmar que:

gato – 30 Hz até 45 kHz

cão – 20 Hz até 30 kHz

homem – 20 Hz até 20 kHz

baleia – 40 Hz até 80 kHz

- A) O gato escuta infrassons e ultrassons.
- B) O cão não escuta ultrassons.
- C) O homem escuta sons mais agudos que a baleia.
- D) A baleia escuta ultrassons mais agudos que o gato.

TC9.7) Sons, ultrassons e infrassons têm diversas aplicações. Dois exemplos estão na tabela a seguir.

Aplicação	Finalidade	Frequências das ondas emitidas
SONAR (<i>sound navigation and ranging</i>)	Medir profundidades oceânicas e identificar obstáculos	10 kHz e 40 kHz
Exame de ultrassonografia	Gerar imagens de partes internas do corpo humano	1 MHz a 5 MHz

Considerando estas informações, marque a alternativa correta:

- A) O ser humano pode ouvir ondas emitidas pelo SONAR.
- B) O SONAR emite sons, infrassons e ultrassons.
- C) O SONAR e o aparelho de ultrassonografia emitem apenas ultrassons.
- D) O ser humano não pode ouvir ondas emitidas nem pelo SONAR nem pelo aparelho de ultrassonografia.

TC9.8) Assinale a alternativa correta:

- A) Ultrassons podem ser usados para obter informações de objetos fora do planeta Terra (por exemplo, asteroides).
- B) Ultrassons propagam-se com a velocidade da luz.
- C) Infrassons têm maiores comprimentos de onda que ultrassons.
- D) Quando um infrassom passa do ar para a água, sua velocidade não se altera.

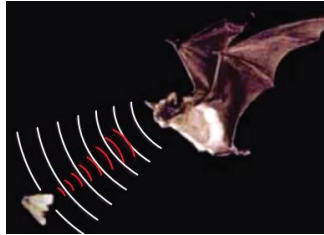
TC9.9) A onda 1 é infrassom, a onda 2 é ultrassom, ambas propagam-se no ar.

Marque a alternativa correta:

- A) A onda 2 tem maior comprimento de onda que a 1.
- B) A onda 1 tem maior comprimento de onda que a onda 2.
- C) Se 1 e 2 tiverem mesmas frequências terão também mesmos comprimentos de onda.
- D) Não se conhecendo os valores das suas frequências, não se pode comparar seus comprimentos de onda.

Sobre reflexão e refração

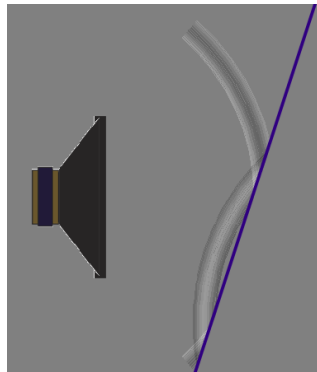
TC13.1) (UNESP 2015, modificada) Em ambientes com pouca iluminação, morcegos usam ecolocalização para caçar ou desviar de obstáculos. Eles emitem ondas de ultrassom que, ao refletirem em um objeto, são refletidas de volta e permitem estimar as dimensões desse objeto.



No caso citado, se o obstáculo for uma pedra, o ultrassom refletido:

- A) Tem frequência diferente do ultrassom emitido.
- B) Tem velocidade menor que o ultrassom emitido.
- C) Tem velocidade maior que o ultrassom emitido.
- D) Tem mesma frequência que o ultrassom emitido.

TC13.2) A imagem a seguir representa um pulso sonoro sendo refletido em uma parede. Sobre o pulso refletido, pode-se afirmar:



- A) Tem o valor da velocidade alterada em relação ao pulso emitido.
- B) Tem a fase alterada em relação ao pulso emitido.
- C) Nenhuma das características é alterada na reflexão.
- D) O comprimento de ondas é alterado em relação ao pulso emitido.

TC13.3) Sobre o fenômeno da reflexão, marque a alternativa correta:

- A) Quando a luz é refletida numa mesa, não há mudança de fase.
- B) Raios-x, raios gama e micro-ondas podem ser refletidos.
- C) Ultrassom pode ser refletido, infrassom não.
- D) A reflexão acontece apenas com ondas mecânicas.

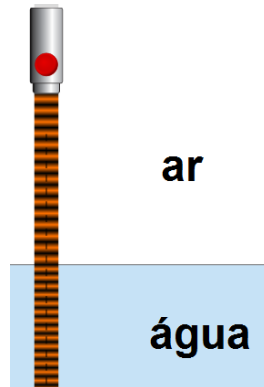
TC13.4) Qual dos fenômenos a seguir evidencia a reflexão de ondas?

- A) O fato de vermos as outras pessoas.
- B) O som passar do ar para a água.
- C) Ondas ultrassônicas poderem atravessar alguns tecidos do corpo humano.
- D) O fato de um cão ouvir sons que não podemos ouvir.

TC13.5) Assinale a alternativa correta:

- A) A refração é caracterizada pela mudança de direção de propagação da onda ao mudar de meio. (UFSC 2010)
- B) A velocidade de uma onda em determinado meio é 120 m/s para uma frequência de 60 Hz. Dobrando a frequência, a velocidade da onda também dobra. (UFSC 2010)
- C) Quando a luz se propaga através do ar e atravessa o vidro de uma janela, sua velocidade é diferente dentro do vidro em relação ao ar.
- D) Quando uma onda muda de meio de propagação, sua frequência, sua velocidade e seu comprimento de onda se alteram.

TC13.6) A figura a seguir representa uma onda luminosa se propagando do ar para a água. Cada traço em preto dentro da parte vermelha representa uma crista.



Qual a alternativa correta?

- A) Ocorre refração, pois a frequência da luz é alterada quando passa para a água.
- B) Não ocorre refração, pois não há desvio da direção de propagação da luz.
- C) Ocorre refração, pois a velocidade da luz se altera, e o comprimento de onda também.
- D) Não ocorre refração, já que a luz é uma onda transversal.

TC13.7) Os tsunamis são gerados em alto-mar, ao se aproximarem da costa, propagam-se numa região com profundidade significativamente menor. É correto afirmar que:

- A) Ocorre refração dessas ondas, com alteração na velocidade de propagação e no comprimento de onda.
- B) Não ocorre refração, ao se aproximar da costa, velocidade e comprimento de onda não se alteram.
- C) Ocorre refração, com alteração na velocidade de propagação, mas frequência e comprimento de onda não se alteram.
- D) Não ocorre refração, a amplitude aumenta quando a onda se aproxima da costa, mas as outras características permanecem inalteradas.

TC13.8) Marque a alternativa correta:

- A) A refração ocorre apenas com ondas mecânicas.
- B) Raios ultravioleta podem ser refratados.
- C) A refração ocorre apenas com ondas eletromagnéticas, como a luz.
- D) Ondas longitudinais não podem ser refratadas.

Sobre reflexão e refração

TC15.1) Na imagem, a menina, dentro da casa, observa a paisagem pela janela. Pode-se afirmar que a luz, que permite que a menina veja os objetos fora da casa, sofre:



Fonte: <http://www.escritoradeartes.com/2012/06/menina-na-janela.html>

- A) Apenas refração.
- B) Apenas reflexão.
- C) Nem refração nem reflexão, apenas propaga-se pelo ar.
- D) Reflexão e refração.

TC15.2) (Mackenzie-SP, pergunta modificada) A figura mostra uma onda transversal periódica, que se propaga com velocidade $v_1 = 8 \text{ m/s}$ em uma corda AB, cuja densidade linear é μ_1 . Esta corda está ligada a uma outra BC, cuja densidade é μ_2 , sendo que a velocidade de propagação da onda nesta segunda corda é $v_2 = 10 \text{ m/s}$.

TC15.4) “Ultrassonografia é uma técnica de geração de imagens que usa ondas sonoras de alta frequência e seus ecos. Na ultrassonografia, ocorrem os seguintes eventos:

- a máquina de ultrassom transmite pulsos sonoros de alta frequência (1 a 5 megahertz) para o interior de seu corpo usando uma sonda;
- as ondas sonoras se deslocam por seu corpo e atingem um limite entre tecidos, por exemplo, entre um fluido e um tecido macio, entre um tecido macio e um osso;
- parte das ondas sonoras é refletida de volta para a sonda, ao passo que outra parte continua se deslocando até atingir outro limite e ser refletida;
- as ondas refletidas são captadas pela sonda e retransmitidas para a máquina;
- a máquina calcula a distância entre a sonda e o tecido ou órgão (os limites) usando a velocidade do som no tecido (1540 m/s) e o tempo de retorno de cada eco, geralmente da ordem de milionésimos de segundo;
- a máquina exibe as distâncias e as intensidades dos ecos na tela, formando uma imagem bidimensional como a mostrada abaixo.”

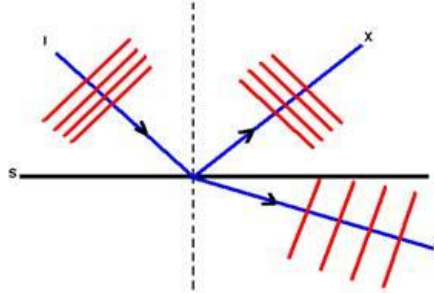


Fonte: Como tudo funciona, disponível em <http://saude.hsw.uol.com.br/ultra-som1.htm>.

Qual a alternativa correta sobre as ondas ultrassônicas citadas no texto?

- A) Sofrem reflexão e refração.
- B) Sofrem apenas reflexão.
- C) Sofrem apenas refração.
- D) Ondas ultrassônicas não podem ser refratadas.

TC15.5) (UNESP-SP) A figura representa uma onda periódica I que atinge a superfície de separação S entre dois meios. Representa também outros dois trens de ondas, X e Y, a serem identificados, e a linha pontilhada representa a normal à superfície de separação S.



Os dois trens de ondas X e Y correspondem, respectivamente, a ondas:

- A) refletida e refratada
- B) refletida e difratada
- C) refratada e refletida
- D) difratada e refratada

TC15.6) “Quando as ondas sonoras colidem com uma superfície sólida - a parede do seu quarto, por exemplo - algumas coisas podem acontecer:

- 1) a superfície irá refletir parte das vibrações de volta à fonte;
- 2) ou irá absorver parte do som convertendo as vibrações em energia térmica;
- 3) ou ainda, irá transmitir o som para o outro lado, para o seu quarto.”

Fonte: Como tudo funciona, disponível em <http://casa.hsw.uol.com.br/casa-a-prova-de-som.htm>

Pode-se afirmar que:

- A) Apenas em 2 ocorre refração das ondas sonoras.
- B) Em 2 e 3 ocorre refração das ondas sonoras.
- C) Em 1 pode ocorrer reflexão e refração das ondas sonoras.
- D) Em 3 ocorre apenas reflexão das ondas sonoras.

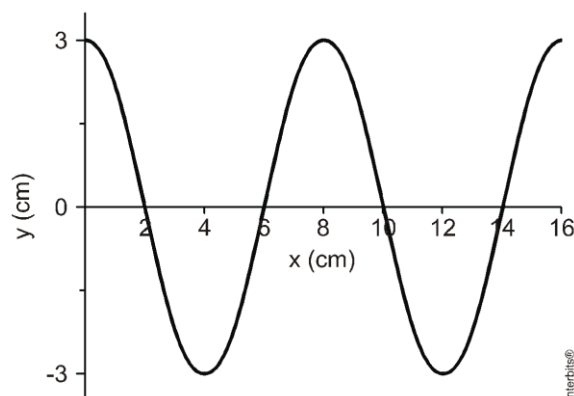
APÊNDICE C – PROBLEMAS QUANTITATIVOS

Envolvendo velocidade de propagação, frequência e período.; reconhecimento de proporções diretas e inversas entre as grandezas ondulatórias

P5.1) (Adaptado e corrigido de ENEM 2012) Em um dia de chuva muito forte, constatou-se uma goteira sobre o centro de uma piscina coberta, formando um padrão de ondas circulares. Nessa situação, observou-se que caíam duas gotas a cada segundo. A distância entre duas cristas consecutivas era de 25 cm e cada uma delas se aproximava da borda da piscina com velocidade de 1,0 m/s. Após algum tempo a chuva diminuiu e a goteira passou a cair uma vez por segundo. Com a diminuição da chuva, a distância entre as cristas e a velocidade de propagação da onda se tornaram, respectivamente,

- A) maior que 25 cm e maior que 1,0 m/s.
- B) maior que 25 cm e igual a 1,0 m/s.
- C) menor que 25 cm e menor que 1,0 m/s.
- D) menor que 25 cm e igual a 1,0 m/s.
- E) igual a 25 cm e igual a 1,0 m/s.

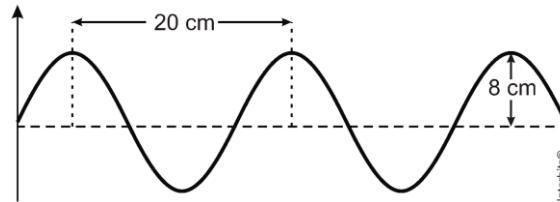
P 5.2) (UFRGS 2013) Uma onda transversal propaga-se com velocidade de 12 m/s numa corda tensionada. O gráfico abaixo representa a configuração desta onda na corda, num dado instante de tempo.



(UFRGS 2013) A frequência da onda, em Hz, é igual a

- A) 2/3.
- B) 3/2.
- C) 200/3.
- D) 96.
- E) 150.

P 5.3) (G1 - IFPE 2012) A figura a seguir representa um trecho de uma onda que se propaga com uma velocidade de 320 m/s. A amplitude e a frequência dessa onda são, respectivamente:



- A) 20 cm e 8,0 kHz
- B) 20 cm e 1,6 kHz
- C) 8 cm e 4,0 kHz
- D) 8 cm e 1,6 kHz
- E) 4 cm e 4,0 kHz

P5.4) (UFRGS 2012) Circuitos elétricos especiais provocam oscilações de elétrons em antenas emissoras de estações de rádio. Esses elétrons acelerados emitem ondas de rádio que, através de modulação controlada da amplitude ou da frequência, transportam informações.

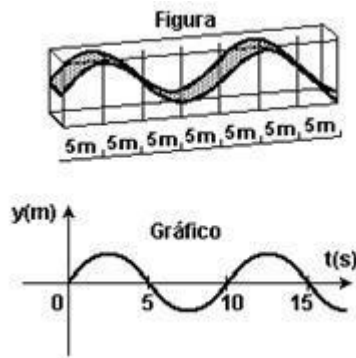
Qual é, aproximadamente, no ar o comprimento de onda das ondas emitidas pela estação de rádio da UFRGS, que opera na frequência de 1080 kHz?

- (A) $3,6 \times 10^{-6}$ m.
- (B) $3,6 \times 10^{-3}$ m.
- (C) $2,8 \times 10^2$ m.
- (D) $2,8 \times 10^5$ m.
- (E) $2,8 \times 10^8$ m.

P5.5) (Fuvest-SP) Um rádio receptor opera em duas modalidades: uma, AM, cobre o intervalo de 550 a 1 550 kHz, e outra, FM, de 88 a 108 MHz. A velocidade das ondas eletromagnéticas vale 3×10^8 m/s. Quais, aproximadamente, o menor e o maior comprimentos de onda que podem ser captados por esse rádio?

- A) 0,0018 m e 0,36 m
- B) 0,55 m e 108 m
- C) 2,8 m e 545 m
- D) 550×10^3 m e 108×10^6 m
- E) $1,6 \times 10^{14}$ m e $3,2 \times 10^{16}$ m

P5.6) (FUVEST-SP) Um grande aquário, com paredes laterais de vidro, permite visualizar, na superfície da água, uma onda que se propaga. A figura representa o perfil de tal onda no instante T_0 . Durante sua passagem, uma boia, em dada posição, oscila para cima e para baixo e seu deslocamento vertical (y), em função do tempo, está representado no gráfico



Com essas informações, é possível concluir que a onda se propaga com uma velocidade, aproximadamente, de

- A) 2,0 m/s
- B) 2,5 m/s
- C) 5,0 m/s
- D) 10 m/s
- E) 20 m/s

P5.7) (PUC-SP) Em dezembro de 2004 um terremoto no fundo do oceano, próximo à costa oeste da ilha de Sumatra, foi a perturbação necessária para a geração de uma onda gigante, uma "tsunami". A onda arrasou várias ilhas e

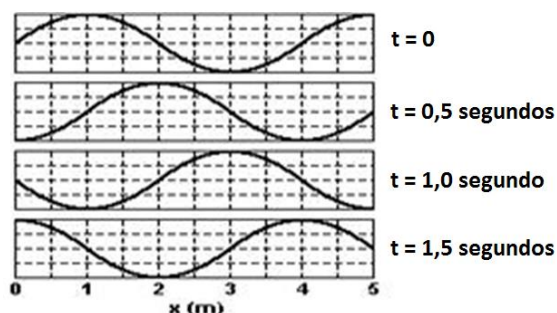
localidades costeiras na Índia, no Sri Lanka, na Indonésia, na Malásia, na Tailândia, dentre outras.

Uma "tsunami" de comprimento de onda 150 quilômetros pode se deslocar com velocidade de 750 km/h. Quando a profundidade das águas é grande, a amplitude da onda não atinge mais do que 1 metro, de maneira que um barco nessa região praticamente não percebe a passagem da onda.

Quanto tempo demora para um comprimento de onda dessa "tsunami" passar pelo barco?

- A) 0,5 min B) 2 min C) 12 min D) 30 min E) 60 min

P5.8) (UNESP-SP) A propagação de uma onda no mar da esquerda para a direita é registrada em intervalos de 0,5 s e apresentada através da sequência dos gráficos da figura, tomados dentro de um mesmo ciclo



Analisando os gráficos, podemos afirmar que a velocidade da onda, em m/s, é de

- A) 1,5. B) 2,0. C) 4,0. D) 4,5. E) 5,0.

Envolvendo ondas mecânicas e eletromagnéticas.

P8.1) Numa corda tensa, propaga-se uma onda de comprimento de onda 20 cm com velocidade igual a 8 m/s.

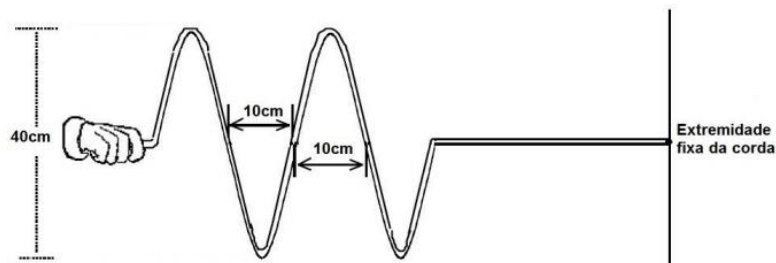
- Calcule frequência e período dessa onda.
- Essa onda é mecânica ou eletromagnética?

P8.2) Considere a velocidade de propagação de uma onda sonora no ar como 340 m/s. Se ela tem comprimento de onda de 34 m, ela é audível pelo ser humano? Justifique.

P8.3) a) Determine a frequência de uma onda eletromagnética, propagando-se no vácuo, de comprimento de onda de 0,1 Å. B) Identifique essa onda no espectro eletromagnético.

As ondas sonoras audíveis para o ouvido humano têm frequências compreendidas entre, aproximadamente, 20 Hz e 20 KHz. Determine a relação entre o maior e o menor comprimento de onda correspondentes a essas frequências de ondas sonoras no ar.

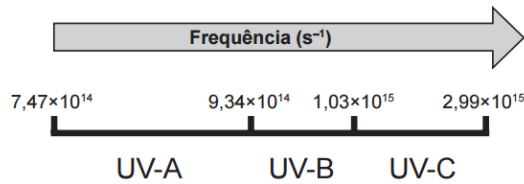
P8.4) (IFSUL 2015) Uma corda inextensível tem uma de suas extremidades fixada em uma parede vertical. Na outra extremidade, um estudante de física produz vibrações transversais periódicas, com frequência de 2Hz . A figura abaixo ilustra a onda transversal periódica resultante na corda.



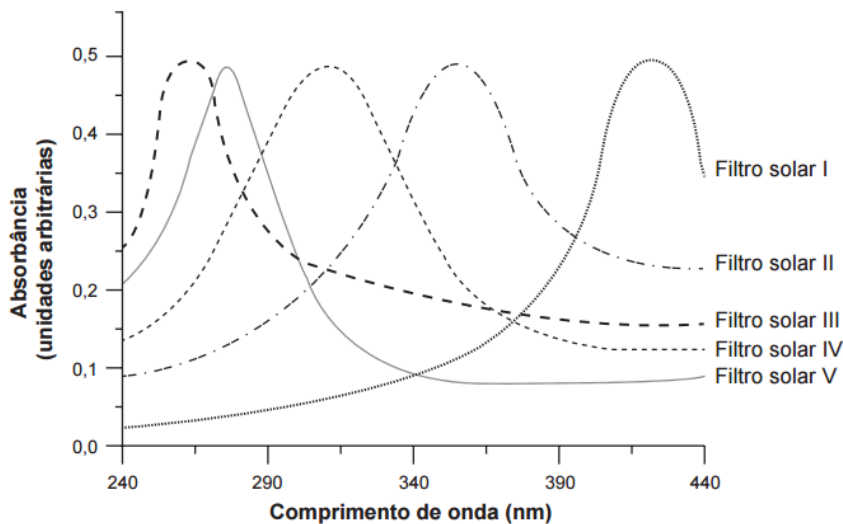
Com base nesses dados, o estudante determina a Amplitude, o Período e a Velocidade de Propagação dessa onda. Esses valores são iguais a:

- A) 20cm, 0,5s e 0,4m/s
- B) 20cm, 2s e 40m/s
- C) 40cm, 0,5s e 20m/s
- D) 40cm 2s e 0,2m/s

P8.5) (ENEM 2015) A radiação ultravioleta (UV) é dividida, de acordo com três faixas de frequência, em UV-A, UV-B e UV-C, conforme a figura.



Para selecionar um filtro solar que apresente absorção máxima na faixa UV-B, uma pessoa analisou os espectros de absorção da radiação UV de cinco filtros solares:



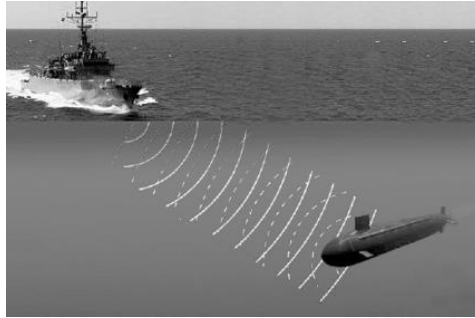
Considere: velocidade da luz = $3 \cdot 10^8$ m/s e $1\text{nm} = 1 \cdot 10^{-9}$ m.

O filtro solar que a pessoa deve selecionar é o:

- A) V B) IV C) III D) II E)

Envolvendo reflexão e refração de ondas.

P14.1) (UERJ, 2015) Para localizar obstáculos totalmente submersos, determinados navios estão equipados com sonares, cujas ondas se propagam na água do mar. Ao atingirem um obstáculo, essas ondas retornam ao sonar, possibilitando assim a realização de cálculos que permitem a localização, por exemplo, de um submarino.

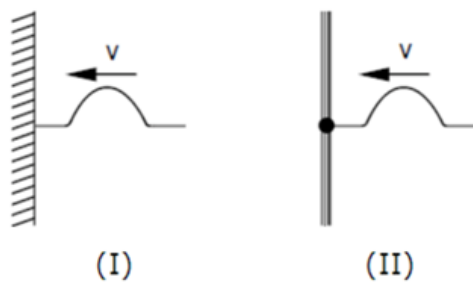


Admita uma operação dessa natureza sob as seguintes condições:

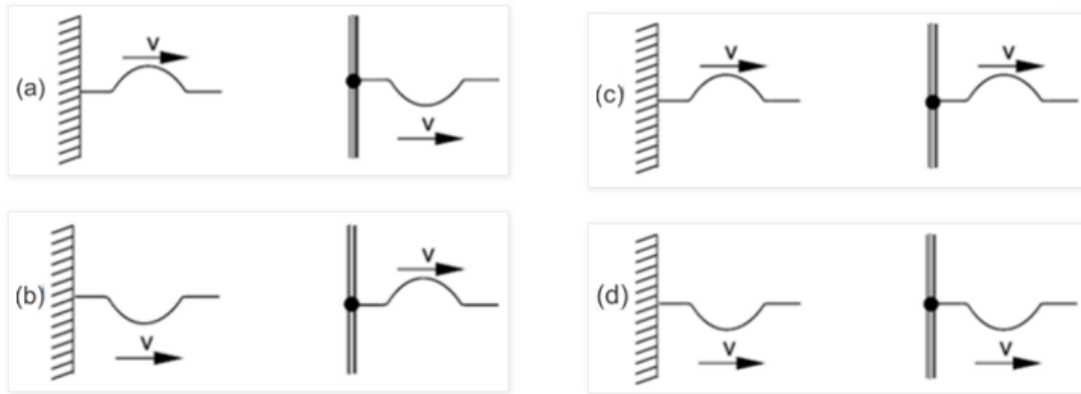
- temperatura constante da água do mar;
- velocidade da onda sonora na água igual a 1450 m/s;
- distância do sonar ao obstáculo igual a 290 m.

Determine o tempo, em segundos, decorrido entre o instante da emissão da onda pelo sonar e o seu retorno após colidir com o submarino.

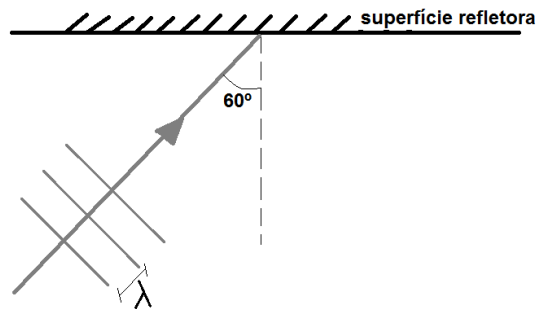
P14.2) (FEI-SP) As figuras representam dois pulsos que se propagam em duas cordas (I) e (II). Uma das extremidades da corda (I) é fixa e uma das extremidades da corda (II) é livre.



As formas dos pulsos refletidos em ambas as cordas, são respectivamente:

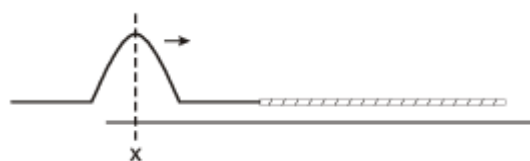


P14.3) Ondas com comprimento de onda λ incidem numa superfície refletora, conforme a figura, onde estão indicadas as frentes de onda e a direção de propagação.

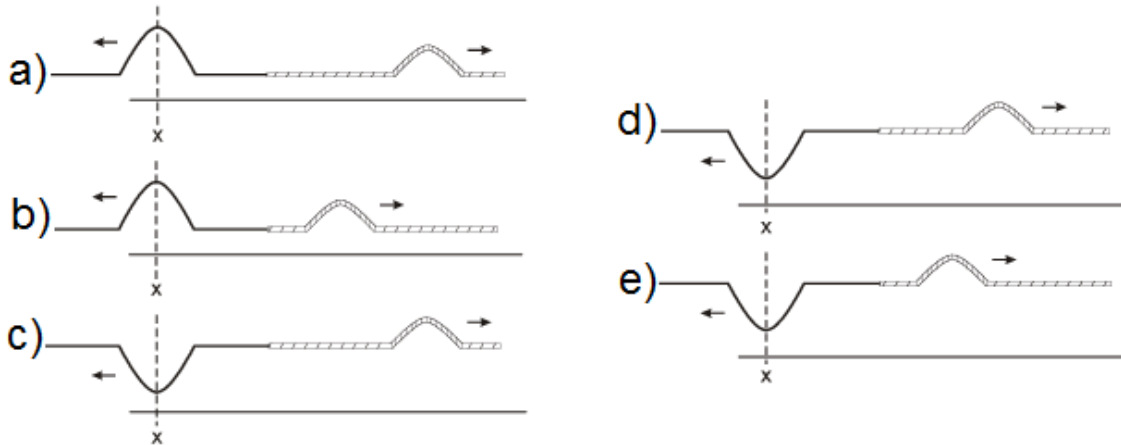


- Desenhe as ondas após a reflexão, mostrando se houve ou não alteração no comprimento de onda (desenhando o λ maior, menor ou igual ao tamanho na onda incidente).
- O que acontece com a frequência e a velocidade da onda após a reflexão?

P14.4) (UFRGS 2011) Uma corda é composta de dois segmentos de densidade de massa bem distintas. Um pulso é criado no segmento de menor densidade e se propaga em direção à junção entre os segmentos, conforme representa a figura abaixo.



Assinale aquela que melhor representa a corda quando o pulso refletido está passando pelo ponto x:



P14.5) (UFAL) Uma onda periódica se propaga numa corda fina com velocidade de 8,0 m/s e comprimento de onda igual a 40 cm. Essa onda se transmite para outra corda grossa onde a velocidade de propagação é 6,0 m/s.

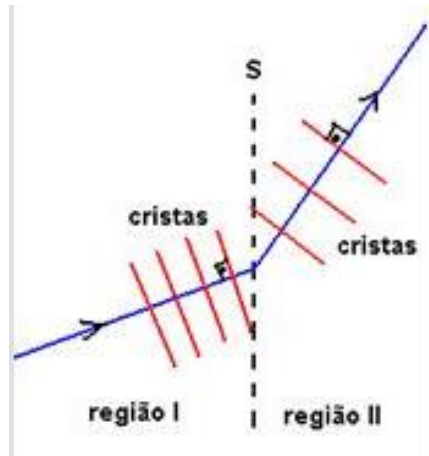


Na corda grossa, essa onda periódica tem frequência em hertz e comprimento de onda em centímetro, respectivamente, iguais a:

- a) 20 e 60
- b) 20 e 30
- c) 15 e 60
- d) 15 e 30
- e) 15 e 20

P14.6) (UFBa) A figura mostra, esquematicamente, as frentes de ondas planas, geradas em uma cuba de ondas, em que duas regiões, nas quais a água tem profundidades diferentes, são separadas pela superfície imaginária S. As ondas são geradas na região I, com frequência de 4Hz, e se deslocam em direção à

região II. Os valores medidos, no experimento, para distâncias entre duas cristas consecutivas nas regiões I e II valem, respectivamente, 1,25cm e 2,00cm.



Calcule a velocidade das ondas na região I e na região II.

P14.7) (UPE 2010) Próxima à superfície de um lago, uma fonte emite onda sonora de frequência 500 Hz e sofre refração na água. Admita que a velocidade de propagação da onda no ar seja igual a 300 m/s, e, ao se propagar na água, sua velocidade é igual a 1500 m/s. A razão entre os comprimentos de onda no ar e na água vale:

- a) 1/3 b) 3/5 c) 3 d) 1/5 e) 1

P14.8) (UFBa 2012) Em 11 de março de 2011, após um abalo de magnitude 8,9 na escala Richter, ondas com amplitudes gigantes foram geradas no Japão. Tsunamis podem ser causados por deslocamento de uma falha no assoalho oceânico, por uma erupção vulcânica ou pela queda de um meteoro. O tsunami, em alto mar, tem amplitude pequena, mas, mesmo assim, transporta muita energia. Sabe-se que a velocidade de propagação da onda, na superfície da água, é dada por $v = \sqrt{gh}$, em que g é o módulo da gravidade local e h , a profundidade do oceano onde a onda se propaga, que o comprimento de onda diminui com a redução da profundidade e que a sua energia ao longo de um comprimento de onda é dada por $E = kvA^2$, em que k é uma constante, v é a

velocidade de propagação da onda na superfície da água, e A é a amplitude da onda.

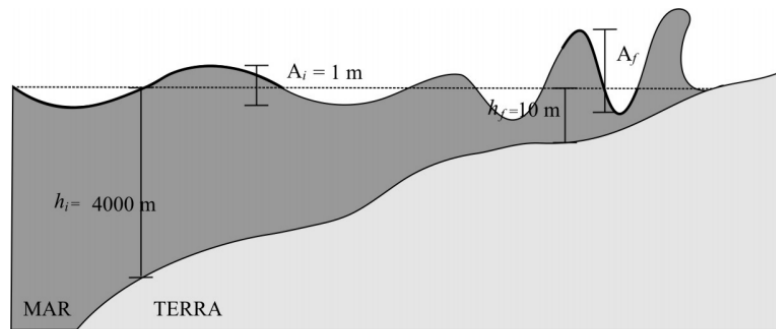


Ilustração esquemática (fora de escala) da formação da grande onda

Da análise da figura e supondo que a onda se propaga sem nenhuma perda de energia, calcule:

- a velocidade da onda em $h_i = 4000,0 \text{ m}$ de profundidade e em $h_f = 10,0 \text{ m}$ de profundidade, onde o módulo da aceleração da gravidade é igual a 10 m/s^2 ;
- a amplitude da onda, A_f , em $10,0 \text{ m}$ de profundidade, sabendo que a amplitude da onda, A_i , em $4000,0 \text{ m}$ de profundidade é $1,0 \text{ m}$.

APÊNDICE D – MODELO DE MINIRRELATÓRIO

FAZENDO UM RELATÓRIO CIENTÍFICO

Vamos elaborar um minirrelatório sobre nossa experiência. Cada item dessa atividade é uma parte que um relatório precisa ter.

Alguns profissionais precisam fazer relatórios técnico-científicos, pelo menos na etapa da graduação. Exemplos: médico, engenheiro, cientista (físico, biólogo, químico), médico veterinário, farmacêutico.

Objetivos do relatório: divulgar resultados obtidos e deixar o registro dos dados e das conclusões.

IDENTIFICAÇÃO

DATA: ___/___/_____

Nomes (completos) dos alunos do grupo:

RESUMO

Façam essa parte por último. Deve contar sobre todo o relatório de forma resumida.

INTRODUÇÃO

Apresentem aqui o assunto como um todo, sem detalhes. A pessoa que lê deve entender sobre o quê é o relatório e o que se deseja obter com ele.

DESENVOLVIMENTO

Expliquem como foi feita a experiência – com base em que teoria (em que área de conhecimento), como foi feita a montagem do espectrógrafo e para quê ele serve, quais as fontes de luz observadas com o espectrógrafos (as fotos dessas fontes são os dados coletados na experiência).

APÊNDICE E – OPINÁRIO

QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DOS MÉTODOS ENSINO SOB MEDIDA E INSTRUÇÃO PELOS COLEGAS

1) O conteúdo de Ondas foi trabalhado com uma metodologia diferente das aulas anteriores. Essa nova metodologia, comparada à anterior, você avalia como:

Muito melhor Melhor Indiferente Pior Muito pior

Se desejar, escreva um comentário sobre isso.

2) No método Ensino sob Medida foram utilizadas tarefas de leitura antes das aulas e indicados vídeos para auxiliar o entendimento do conteúdo em estudo. Em relação ao método tradicional, você considerou o Ensino sob Medida:

Muito melhor Melhor Indiferente Pior Muito pior

Se desejar, escreva um comentário sobre isso.

3) O que você achou sobre o tempo para estudar os textos em casa?

Suficiente Pouco tempo

4) Qual sua opinião sobre os textos? Eram de fácil entendimento? (Havia vários textos, responda considerando a maioria deles e use o espaço para comentário se quiser indicar dificuldade em algum).

Eram difíceis Razoáveis Fáceis de entender

Se desejar, escreva um comentário sobre isso.

5) O que você achou sobre o nível de dificuldade das questões das tarefas de leitura?

Muito fácil Fácil Adequado Difícil Muito difícil

Se desejar, escreva algum comentário sobre as questões.

6) Ainda sobre o método Ensino sob Medida, a professora pôde ver em quais assuntos você tinha mais dúvidas antes da aula, e trazer material voltado para essas dúvidas. Na sua avaliação, para seu aprendizado, isto funcionou:

Muito bem Bem Não fez diferença Foi pior que no método tradicional

Se desejar, escreva um comentário sobre isso.

7) O método Instrução pelos Colegas foi utilizado quando a professora fazia uma breve explicação de um conceito e projetava testes para votação. Em alguns casos, houve explicações de um colega para outro para que a maioria chegasse à resposta correta através de argumentos. Em relação ao método tradicional, você considerou esse método:

Muito melhor Melhor Indiferente Pior Muito pior

Se desejar, escreva um comentário sobre isso.

8) Foi utilizado um sistema de votação chamado *Plickers*: você mostrava um cartão com um símbolo e a professora registrava a resposta com a câmera do celular. O que você achou deste método de votação?

Ótimo Bom Razoável Ruim Muito ruim

Se desejar, escreva um comentário sobre isso.

9) Você considera que aprendeu os conteúdos de Física com esse método?

Aprendi muito bem Aprendi bem Aprendi pouco

Fiquei com dificuldade de entender todos os assuntos de ondas

Se desejar, escreva um comentário sobre isso.

10) Sobre as aulas de resolução de problemas, avalie:

a) A quantidade de problemas:

Boa Razoável Pouca (deveria ter mais problemas)

b) O nível dos problemas:

Difíceis demais, não tinha como resolver sem ajuda.

Difíceis mas bons para ajudar o aprendizado, consegui resolver.

Razoáveis

Fáceis demais, acho que a lista podia ser melhor

11) O método utilizado nas aulas: resolver em duplas ou trios com a professora disponível para tirar dúvidas. Isto ajudou seu aprendizado?

Muito Razoavelmente Não ajudou Prejudicou, prefiro resolver sozinho

12) Você gostaria que esses métodos fossem utilizados mais vezes nas aulas de Física? Por quê?

13) Se fossem utilizados novamente em outros conteúdos, que sugestões você daria para melhorar a aplicação deles?