

APRENDIZAGEM DE ONDAS SONORAS POR MEIO DE UMA SITUAÇÃO ADIDÁTICA

THE LEARNING OF SOUND WAVES BY THE MEANS OF A ADIDACTICAL SITUATION

Shirley Takeco Gobara¹
Simone Machado Marques²

¹ UFMS/ Programa de Pós-Graduação em Educação, gobara@dfi.ufms.br

² UFMS/ Programa de Pós-Graduação em Educação, simone_m_marques@yahoo.com.br

Resumo

Neste artigo descrevemos e analisamos uma das fases de uma pesquisa que propõe investigar o ensino de ondas por meio de uma situação adidática, baseada na teoria das situações didáticas de Brousseau. Trata-se da testagem de uma sequência didática, como condição necessária para o desenvolvimento da metodologia adotada, a Engenharia Didática. A sequência didática foi construída considerando-se uma situação adidática na forma de uma situação-problema e uma fase denominada Institucionalização. A situação-problema apresenta um desafio a ser resolvido pelos alunos. Os alunos resolveram a seguinte situação: um casal foi seqüestrado e mantido em um cativeiro em cômodos separados. Como o casal pode se comunicar sem despertar a atenção dos seqüestradores e de que forma eles podem pedir socorro para alguém fora da casa sem gritar? De modo geral, a solução dada pelos alunos ao problema inicialmente proposto foi satisfatória na maioria dos grupos: todos solucionaram o desafio, embora várias concepções espontâneas tenham aparecido.

Palavras-chave: situação adidática, ondas, aprendizagem, engenharia didática.

Abstract

In this paper we describe and analyse one of the phases of a research that proposes to investigate the teaching of waves by the means of a adidactical situation, based in the Theory of Didactical Situations by Brousseau. It deals with the grading of a didactical sequence as a necessary condition for the development of the adopted methodology, the Didactical Engineering. A didactical sequence was built considering a didactical situation in the form of a situation problem and a phase called Institutionalization. The situation problem presents a challenge that has to be solved by the students. They had to solve the following situation: a couple was kidnapped and held in captivity in separate rooms. How may the couple communicate without bringing to attention the kidnappers and in such way that they may ask for help to someone outside the house without screaming? In general, the solution given by the students to the problem initially proposed was satisfactory in the majority of the groups: all of them solved the challenge, although many misconceptions have emerged.

Keywords: adidactical situation, waves, learning, didactical e engineering

Introdução

O objetivo deste artigo é apresentar uma das fases de uma pesquisa que propõe investigar o ensino de ondas por meio de uma situação adidática, baseada na teoria das situações didáticas de Brousseau (1986). Trata-se da validação de uma situação-problema, usado como meio didático de uma seqüência didática, como condição necessária para o desenvolvimento da metodologia adotada, a Engenharia Didática (ARTIGUE, 1988). A seqüência didática é constituída por uma situação-problema, a ser resolvida pelos alunos e uma situação de institucionalização dos saberes em jogo a ser realizada pelo professor. Apresentaremos a análise e os resultados da testagem da situação-problema, que desafia o aluno a resolver um problema ligado a um contexto do dia a dia.

Com estes resultados faremos os ajustes necessários para a aplicação da seqüência didática em uma situação real de sala de aula, a uma turma de alunos do 2º ano do ensino médio, para verificar a viabilidade dessa proposta.

A escolha do conteúdo – ondas sonoras – foi definida em função da sua importância e presença constante na nossa vida, desde a comunicação entre pessoas, no lazer, etc, até sua aplicação nas áreas médica e científica. Também verificamos que este conteúdo é pouco explorado, inclusive pelos livros didáticos, ficando muitas vezes relegado a um segundo plano.

Para o desenvolvimento desta situação de aprendizagem utilizamos um artefato tecnológico – o telefone – como um elemento do meio didático que irá inicialmente contextualizar essas situações para dar um sentido àquilo que o estudante deverá aprender como modelo (teoria) em Física.

A teoria das Situações Didáticas de Brousseau

O nosso trabalho está sendo embasado na Teoria das Situações Didáticas, desenvolvida na França por Guy Brousseau (1986). Esta teoria procura explicitar como a aprendizagem ocorre e qual é a relação entre os elementos do sistema didático, constituído pelo professor, aluno e saber, e “o meio didático” que viabiliza a interação destes.

Segundo Brousseau: “o aluno aprende adaptando-se a um meio que é fator de contradições, dificuldades, desequilíbrios, um pouco como faz a sociedade humana. Este saber, fruto da adaptação do aluno, manifesta-se através de novas respostas, que são por sua vez provas da aprendizagem.”(op. cit., 1986, p. 48-49, tradução nossa). O aluno deverá tomar o problema para si, aceitando o desafio de resolvê-lo, iniciando deste modo o processo de aprendizagem.

Cabe ao professor criar uma forma de apresentar este novo conhecimento num contexto que faça sentido ao aluno, proporcionando um meio didático adequado para que ele se envolva e assuma a resolução de um problema. O professor deve efetuar a chamada **devolução** de um problema, que consiste na transferência de responsabilidade da resolução deste pelo aluno não de forma imposta, mas agindo como se o problema fosse seu. As situações vividas em sala de aula pelos alunos podem ser, segundo Brousseau, didáticas ou adidáticas.

Uma situação didática é um conjunto de relações estabelecidas explicitamente e ou implicitamente entre um aluno ou um grupo de alunos [...] um certo meio e um sistema educativo (o professor) com a finalidade de possibilitar a estes alunos um saber constituído ou em vias de constituição.[...]. (BROUSSEAU, 1986, p. *apud* FREITAS, 1999, p.67).

Uma situação adidática, diferentemente, é aquela em que não existe a **intenção explícita** do professor de ensinar e o aluno não sabe claramente os objetivos didáticos, mas quando ele assume a responsabilidade de resolver um problema, e o resolve, ele terá usado e apreendido os novos conhecimentos. Entre o momento em que o aluno toma o problema para si e durante a resolução deste, não deve ocorrer a intervenção explícita do professor, isto é, dar explicações e respostas às perguntas do aluno. A atividade deve ser construída de modo que o aluno tenha condições de, usando seus conhecimentos prévios e seguindo as etapas da sequência, construir o novo conhecimento sem a ajuda direta do professor.

Nas suas eventuais intervenções, o professor não deve responder diretamente as perguntas dos alunos, mas sim devolvê-las, usando um procedimento semelhante à *abordagem socrática*, valorizando os seus conhecimentos prévios que deverão surgir através das “boas questões” elaboradas pelo professor. Assim como Sócrates, a teoria de Brousseau propõe que o professor não forneça respostas prontas para os alunos, mas que, por meio de situações adidáticas, o próprio aluno construa e encontre respostas para o seu problema.

Associada às situações adidáticas, a fim de descrever as ações dos alunos ao longo da resolução de um problema, Brousseau (PIUBÉLI; GOBARA, 2004, p. 6-7; FREITAS, 1999, p. 77-83) propôs a seguinte tipologia de situações:

- situações de ação: a solução de um problema ocorre através de ações diretas e o conhecimento produzido pelo aluno tem uma função prática e operacional. Predomina o aspecto experimental do conhecimento. O aluno resolve um problema de forma intuitiva sem explicitar modelos ou teorias que o levaram a este resultado.

- situações de formulação: o aluno utiliza modelos ou esquemas teóricos explícitos e mais elaborados na resolução do problema. Existe a intenção implícita de verificar se o modelo construído resolve corretamente o problema.

- situações de validação: o aluno utiliza mecanismos de prova em busca da comprovação ou rejeição do modelo ou teoria construído por ele no processo de aprendizagem.

Esta divisão de situações faz parte dos procedimentos dos alunos que são identificadas pelo professor (ou pesquisador) e serve apenas para facilitar a compreensão do processo de construção do conhecimento, sendo que elas se entrelaçam fortemente umas às outras. Brousseau esclarece que estas três categorias têm a finalidade de analisar os aspectos fundamentais do processo da aprendizagem.

Exemplos para compreender melhor essa tipologia das situações por meio da análise de uma situação-problema, pode ser encontrado em Gobara e Piubéli (2004).

Engenharia Didática: a metodologia escolhida

Estamos desenvolvendo uma pesquisa qualitativa em que a metodologia de pesquisa escolhida é denominada Engenharia Didática (ARTIGUE, 1988)

desenvolvida para pesquisa em didática da matemática. Trata-se de uma metodologia que propõe como estratégia de investigação o desenvolvimento e aplicação de uma seqüência didática, fundamental na busca de respostas a questões relativas ao ensino e aprendizagem dos conhecimentos científicos. A Engenharia Didática é dividida em quatro fases:

Primeira fase: análises preliminares. Visa buscar subsídios para a investigação e continuarão sendo revisadas durante o desenvolvimento do trabalho. Nesta fase é necessário realizar um levantamento na literatura (revistas, dissertações, teses, livros, Internet, etc) dos conhecimentos didáticos já adquiridos sobre o assunto a ser estudado, a análise epistemológica deste conteúdo, as concepções e modelos explicativos dos alunos sobre o som (veja alguns sites citados no tópico análise por atividade e por grupo), as dificuldades e obstáculos encontrados por estes e os prováveis problemas que serão enfrentados na realização da pesquisa. Esses levantamentos estão sendo realizados. Também inclui um levantamento histórico sobre o telefone, artefato escolhido para o nosso trabalho, já realizado.

Segunda fase: concepção e análise *a priori* das situações didáticas. Nesta etapa elabora-se a seqüência didática e efetua-se a sua testagem com alguns alunos. A testagem tem o objetivo de validar a situação didática que compõe a seqüência. Estamos nesta fase da pesquisa. É importante o controle das atividades, através da descrição e da previsão de tudo que pode acontecer durante a engenharia. Deste modo, a testagem serve para verificar se as nossas previsões correspondem aos dados obtidos e o que pode ser feito para melhorar a atividade.

Terceira fase: experimentação. Nesta fase será aplicado o instrumento de pesquisa e realizado o registro das observações feitas durante a experimentação. Assim como na testagem, para a coleta de informações alguns instrumentos devem ser utilizados como: filmagem, diário de bordo, anotações ou produções dos alunos e eventuais entrevistas. Estas são as fontes primárias dos dados que serão analisadas. É a próxima fase da nossa investigação, na qual pretendemos realizá-la em uma turma do 2º ano do ensino médio, preferencialmente numa escola pública.

Quarta fase: análise *a posteriori* e validação. É a fase em que os dados são organizados e analisados, confrontando a análise *a priori* e a análise *a posteriori*, confirmando ou rejeitando as hipóteses e indagações propostas.

Testagem preliminar da seqüência didática

A seqüência didática foi construída considerando-se uma situação-problema e uma fase denominada Institucionalização. A situação-problema apresenta um problema na forma de desafio a ser resolvido pelos alunos. Os alunos devem realizar uma série de atividades experimentais com algumas questões que vão proporcionar os meios pelos quais eles vão agir, refletir e organizar os conhecimentos necessários para que eles possam formular as hipóteses e resolver o desafio.

A situação-problema apresenta o seguinte contexto: trata-se de um seqüestro de um casal na saída de um cinema em uma noite de domingo. Eles foram levados por dois seqüestradores e mantidos isolados, cada um em um cômodo de uma casa abandonada, sem os seus pertences (bolsa, carteira, telefone,

etc). O homem foi colocado em uma garagem no subsolo e a mulher em um quarto logo acima.

Os alunos devem resolver a seguinte situação: como o casal pode se comunicar sem despertar a atenção dos seqüestradores e de que forma eles podem pedir socorro para alguém fora da casa sem gritar.

Para resolver o desafio, os alunos devem realizar as atividades que são sugeridas por meio de um roteiro que foi organizado em duas partes: na primeira parte os alunos vão trabalhar atividades em que será observada a propagação do som em diferentes meios (ar, barbante e nylon). Nesta parte os alunos devem realizar duas atividades denominadas ***Metal que vira sino*** e ***Telefone com fio***. Na segunda parte será observada a propagação do som em outros sólidos (madeira, carteira) e através do ar em tubos com diferentes diâmetros. Nesta parte, têm-se as atividades denominadas ***Tubo acústico*** e ***Estetoscópio***.

A testagem da primeira versão da seqüência adidática foi feita com um grupo de nove alunos voluntários de uma escola pública estadual no dia 3 de abril de 2008. Os alunos são do matutino e realizaram as atividades à tarde, no laboratório de química e física. A turma foi dividida em duplas e um grupo ficou com três componentes.

Análise por atividade e por grupo

As respostas dos alunos foram analisadas por grupo e por questão e os resultados serão apresentados, inicialmente, evidenciando os aspectos comuns aos grupos e posteriormente os aspectos particulares observados nos mesmos. Estas análises se basearam nas anotações feitas no roteiro pelos alunos durante a realização das atividades. Como complemento, também foram usadas as anotações da pesquisadora e a transcrição das fitas de vídeos (o experimento foi filmado).

Análise das observações e respostas referentes à primeira parte

Os alunos realizaram a primeira parte da atividade em aproximadamente 1 hora (o primeiro grupo finalizou em 50 minutos).

Na primeira atividade, ***Metal que vira sino***, os alunos receberam um artefato, o qual é identificado como um sino (constituído por um cabide de arame e dois pedaços de barbante, montagem mostrada na figura 1). De acordo com o roteiro, o aluno deveria segurar o sino pelos barbantes e bater no cabide sem encostar os barbantes no ouvido. Depois comparar encostando cada ponta solta de barbante em um ouvido, deixando o cabide pendurado na sua frente e pedir para um colega bater nele com uma caneta. Procedendo desta forma o aluno ouve o som de um sino, bem diferente do som ouvido quando os barbantes não estão em contato com o ouvido.



Figura 1: sino feito com cabide e barbante

Observamos, inicialmente algumas dificuldades no manuseio do material. Todos os alunos seguraram o sino pelo cabide, mais precisamente pelo “gancho”, na primeira parte dessa experiência e esperávamos que eles segurassem pelos barbantes. Esse problema foi contornado com relativa facilidade e os grupos

seguiram as orientações sugeridas de modo a perceber distintos sons, como havíamos previsto na análise *a priori*. Entretanto, de acordo com as nossas análises *a priori*, os alunos confundem e usam de forma inadequada vários termos científicos, como é possível verificar nas respostas dos alunos analisadas.

Em relação à questão “*Explique como o copo preso na extremidade do barbante influencia o som transmitido até o ouvido.*”, temos como exemplo a seguinte resposta: “*O barbante fez com que o som não se dispersasse, chegando aos ouvidos exatamente como ele é (C1).*” O aluno C1 usa o termo “dispersar” de forma incorreta, pois quer dizer que o som não se espalha e não diminui sua intensidade através do barbante, o que ele observa que ocorre quando o meio de propagação é o ar. A dispersão do som em um meio material ocorre quando a velocidade da onda depende do seu comprimento de onda ou da sua frequência. O ar é um exemplo de meio não-dispersor, pois a velocidade das ondas acústicas no ar independem do comprimento de onda ou da frequência destas ondas.

Em uma outra questão, ao pedir para que eles descrevessem o som ouvido ao bater com a caneta no sino, que agora possuía dois copos descartáveis presos nas extremidades livres dos barbantes, como fones de ouvido, observamos a seguinte resposta: “*O som é igual ao da experiência 2, só que mais alto (C2).*” O aluno quer dizer que o som ouvido é mais “forte” que no experimento anterior, confundindo os conceitos de altura e intensidade.

Na análise *a priori*, estava previsto que os conceitos de intensidade e altura poderiam ser usados de forma inadequada, como foi constatado na investigação de Nascimento e Gobara (2007). Essas pesquisadoras verificaram que os alunos, ao apresentarem algumas propriedades do som, como altura e intensidade, entendiam a situação, mas ao expressar suas idéias não usavam a terminologia correta. Outros trabalhos (projeto LASER¹, grupo de pesquisa de Educação em Física da Universidade do Kansas – EUA² e uma lista que faz parte de um projeto desenvolvido pelo American Institute of Physics³) corroboram com as nossas observações.

Um aspecto importante a ser destacado é que mesmo usando termos inadequados os alunos parecem entender o que está acontecendo. Como, por exemplo, na questão em que é solicitado que os alunos expliquem como o copo preso na extremidade do barbante influencia o som transmitido até o ouvido. Observamos a seguinte resposta de B2: “*Com o copo preso no barbante, podemos escutar perfeitamente o som, pois o som está fechado e assim ajudando nossa audição, assim fica mais alto.*”

O aluno B2 se refere ao fato de que o som no copo não pode se espalhar e como ele ainda não conhece as leis de reflexão e interferência ele usa expressões do senso comum ao afirmar que o som está “fechado”. Nessa resposta, novamente

¹Disponível em: <http://www.wastatelaser.org/resources/toolkits/foss/physics_of_sound/misconcepts.asp>. Acesso em: 22 abril 2008.

²Disponível em: <<http://web.phys.ksu.edu/papers/2003/SoundMental.pdf>>. Acesso em: 22 abril 2008.

³Disponível em: <<http://www.amasci.com/miscon/opphys.htm>>. Acesso em: 22 abril 2008.

aparece a palavra “alto” que foi usada pelo aluno como intensidade do som. Como já vimos, o uso e o sentido desta concepção espontânea é recorrente na literatura.

Através dos experimentos solicitados, os alunos foram realizando as atividades e registrando suas observações, o que caracteriza as situações de ação, nas quais eles agem diretamente sobre o material fornecido. Ao analisar estes dados e tentar criar modelos para explicar o observado, está ocorrendo o que Brousseau chamou de situações de formulação.

Apresentamos uma análise da situação de ação dos alunos do grupo A referente à questão que solicita que estes expliquem como o meio de propagação do som pode ter influenciado nas suas observações dos experimentos. A resposta do aluno A1 foi: *“Com o cordão no ouvido, parece o som de um sino.”* Embora a questão peça uma explicação, a resposta relata o que foi observado na atividade sem uma tentativa de explicá-la.

Na resposta do aluno B3, *“No 1º item havia somente o ar para transmitir o som, já no segundo item o som sai maior por causa do barbante”*, percebemos uma tentativa de explicação em relação ao que foi observado, se aproximando de uma situação de formulação, embora, para descrever o som mais intenso, ele utilize o termo “maior”, evidenciando novamente o uso de uma noção do senso comum.

Na atividade do **Telefone com fio**, os alunos receberam três telefones, cada um constituído por um fio de 5 metros e dois copos descartáveis presos nas extremidades deste, sendo dois fios de algodão (barbantes de espessuras diferentes) e o outro fio de nylon.

Nesta atividade, questionou-se a necessidade do fio estar esticado para que o som se propague. O grupo D respondeu: *“Que sem esticar muito o fio não ouvimos com clareza porque a vibração não chega ao outro lado, já quando esticamos bem ouvimos com clareza (D1)”*. Nessa resposta fica mais evidente uma situação de formulação, na medida em que o aluno associa ao som uma vibração que se propaga. Esta é uma formulação considerada por nós satisfatória porque se aproxima do modelo científico.

Na questão que pede para que eles toquem levemente o fio durante a conversa, dois grupos responderam que o som é interrompido (A e D) e dois que ouviam um chiado. Esta diferença ocorreu devido ao modo dos alunos tocarem o fio, suavemente ou não. Ao ser tocado suavemente, o som apresentava um chiado devido à interferência do toque, enquanto que segurando fortemente o fio, a vibração deste era interrompida, impedindo a propagação do som. A nossa expectativa era que eles sentissem e comentassem a vibração do fio e que, portanto, a propagação do som está associada a uma perturbação (vibração) que se propaga. Fato que não ocorreu satisfatoriamente pelos problemas acima observados.

As respostas exemplificadas dos alunos A1 e C1, apresentam uma tentativa de explicação sobre a relação entre o tipo de fio do telefone e o som ouvido.

“O fio do 2 é mais grosso e o som é melhor, mais alto. O fio do 1 é mais fino e o som mais baixo(A1).” O aluno A1 identifica que o melhor telefone é o número 2 porque o fio é mais grosso (a situação de formulação esperada é: quanto mais grosso o fio melhor é o som para fios de mesmo material). Também diz que o melhor som é o som mais alto, querendo dizer que é mais forte (maior intensidade). Resposta prevista nas nossas análises *a priori*. Uma outra explicação *“Quanto mais*

grosso o fio, maior será o volume do som (C1)”. Na explicação dada nesta resposta, o aluno C1 associa a espessura do fio com o volume ouvido.

Os alunos A1 e C1 entrelaçam situações de ação, identificando qual o telefone é melhor ou pior, com situações de formulação, ao elaborar uma relação entre diferentes diâmetros dos fios com os diferentes sons ouvidos. Comparando as respostas desta atividade, percebemos uma evolução nas explicações elaboradas pelos alunos em relação ao experimento do sino, mesmo com a ocorrência de terminologias do senso comum como foi evidenciado nas discussões anteriores.

Análise das observações e respostas referentes à segunda parte

Após a realização da primeira parte, fizemos um intervalo de 15 minutos e iniciamos a segunda parte da situação. A duração desta segunda etapa foi de aproximadamente 50 minutos.

Na atividade com os **Tubos acústicos**, os alunos deveriam conversar usando dois tubos de conduíte (5 m de comprimento) de diferentes diâmetros. Os grupos concordaram que ouviam melhor a voz do colega com o tubo de maior diâmetro, e para justificar isto usaram termos como “mais grosso”, “maior cavidade” ou mesmo forneceram o valor do diâmetro dos dois tubos. Este último caso pode ser observado na resposta abaixo: *“O tubo 1 tem de conduíte ½ polegada. O som nele é mais baixo em comparação ao tubo 2, que tem o tubo de conduíte de 1 polegada (B2).”* Os alunos acharam que, da mesma forma que o fio, o tubo transmite melhor o som se estiver esticado. O grupo D foi o único a afirmar que o som saía da mesma forma, estando o tubo esticado ou não.

Quando perguntado qual o papel do tubo na propagação do som, o grupo B respondeu: *“Faz o “eco” e aumenta o volume do som (B1)”*. Analisando a resposta de B1, a justificativa do “eco” aparece como uma forma de “aumentar” o som, como se o tubo produzisse “algo” para aumentar a intensidade do som, o que ele chamou de “eco”. Este termo não havia sido considerado nas nossas análises *a priori* e também não há indicações do mesmo na literatura consultada.

As respostas dos outros grupos se aproximam de uma resposta correta, mas ainda não se fala em espalhamento do som.

A1) O som entra por um lado e sai pelo outro. Transmitir o som.

C2) Ele conduz as ondas sonoras.

D1) Guardá-lo e conduzi-lo melhor ao outro lado.

Os termos “transmitir” e “conduzir” o som são expressões que consideramos corretas e estão de acordo com as respostas esperadas nas nossas análises *a priori*. Quanto ao termo “guardar”, não era esperado nas nossas análises, mas acreditamos que o aluno atribuiu um sentido de “manter junto” ou de “não se espalhar”, se aproximando da resposta esperada.

Ao comparar os tubos 1 e 2, o grupo C parece ter mais clareza ao formular as justificativas, com respostas que vão além da simples observação do problema, como mostram as respostas exemplificadas: *“No 2, porque quanto mais comprido, mais esticado e grosso for o tubo maior será o volume do som (C2).”* Este aluno explica o aumento do volume do som associado ao comprimento, a tensão e a espessura do tubo, apesar da nossa atividade não ter trabalhado com tubos de diferentes comprimentos, eles concluem que este é um fator que contribui na

intensidade do som ouvido. Também em relação ao tubo ter que estar esticado, na experiência tentamos mostrar exatamente que isto não é necessário, ao contrário dos fios dos telefones. A realização da experiência com os telefones com fios anteriormente pode ter influenciado os alunos nesta resposta, indicando uma tentativa de generalização das duas situações (fios e tubos).

No início da última atividade, **Estetoscópio**, ao serem solicitados para realizar e analisar o procedimento que inspirou Laënnec a inventar o estetoscópio, arranhando com a unha uma das pontas de um pedaço de madeira e encostando o ouvido na outra ponta, todos os grupos perceberam a diferença entre o som transmitido pelo ar do som transmitido através de um sólido (madeira).

Dando continuidade a atividade, fornecemos um tubo de papelão duro, simulando o primeiro estetoscópio construído por Laënnec que consistia em um tubo de madeira, e os alunos deveriam usá-lo para auscultar o peito do colega ou ouvir o som propagado na madeira. Com este artefato os alunos afirmam ouvir melhor o som, mas divergiram na explicação sobre o seu funcionamento:

A1) Aproxima o som.

B3) *Ele conduz o som até o ouvido.*

C1) *É um aparelho que conduz o som até o ouvido através de um tubo que é encostado ao lugar de origem do som.*

D1) *Ele neutraliza o som que se quer ouvir, por exemplo, ele ajuda o médico a ouvir o som, melhorando seu diagnóstico.*

O aluno A1 explica o estetoscópio como se fosse uma “lente”, trazendo o som de alguma forma para perto do ouvinte. Os alunos B3 e C1 se aproximam mais de uma resposta satisfatória, mas não falam em propagação do som em todas as direções, no caso de não se usar o aparelho.

O termo “neutraliza” usado pelo aluno D1, baseada no senso comum, não estava previsto nas nossas análises e é usado com outro sentido, indicando através desta nova expressão que o som é ouvido melhor e com clareza.

Ainda nesta atividade, o aluno D1, ao responder a questão que perguntava se eles ouvem melhor o som produzido ao bater com a caneta na carteira usando o estetoscópio, usou o termo “eco” equivalente a um “barulho” ou “ruído de fundo” do ar. Veja a resposta: *“Com o estetoscópio, porque mesmo ouvindo o eco do ar, a batida da caneta na carteira é mais nítida (D1).”*

Os grupos B e D usaram em várias respostas o termo **eco**, mas com diferentes significados. O grupo D usa este termo como sinônimo de “barulho”, como comentamos no exemplo acima enquanto que o grupo B considera o **eco** “algo” produzido pelo tubo ou estetoscópio que tem a capacidade de aumentar o som, sentido que foi analisado anteriormente. Os grupos apresentaram coerência no uso inadequado deste termo, pois citaram “eco” em várias respostas, mas cada grupo usou sempre o termo com o mesmo significado.

Após finalizar as etapas das atividades experimentais, os alunos responderam cinco questões que têm por objetivo retomar os conceitos fundamentais propostos e fazer com que os alunos comparem as diversas etapas da sequência.

Na questão 1, os alunos deveriam responder se o fio do telefone deve estar frouxo ou esticado para que o som se propague. Todos alunos responderam corretamente que o fio deve estar esticado, mas apenas os grupos B e D justificaram usando termos corretos como ondas sonoras e vibrações.

Já a questão 2 questiona porque o fio deve estar esticado e o tubo não para que o som se propague. Nenhum grupo respondeu corretamente quanto ao funcionamento do tubo. Os grupos C e D afirmaram, apenas observando que o mais largo propaga com mais facilidade o som e propaga por apresentar uma cavidade (grupos C e D). O grupo A não respondeu esta questão e o grupo B novamente explica o funcionamento do tubo usando o termo “eco”, com o significado de “algo” que é produzido para carregar o som.

A questão 3 se diferencia em alguns aspectos das demais. O enunciado é longo em comparação com as outras questões, porque algumas informações e conceitos sobre as propriedades do som, importantes para a compreensão da propagação do som em diferentes materiais, foram introduzidas, e a diferença entre os conceitos de altura e intensidade do som é apresentada usando exemplos. Após essas discussões, apresenta-se a seguinte questão: analisar a atividade do telefone com fio, comparando o meio de propagação e as características do som ouvido nas três situações (três telefones com fio). O conjunto de informações mais a questão pedida pode ter contribuído para a ocorrência das dificuldades comentadas a seguir.

Apenas o grupo A entendeu que a pergunta era referente apenas à parte do experimento dos telefones com fio e a respondeu corretamente. Os outros grupos responderam comparando os telefones com os tubos e até com o estetoscópio (grupo C). Esse problema nós creditamos ao excesso de informação no enunciado da questão e será corrigido para a etapa de aplicação da sequência numa situação real de sala de aula. Os próprios alunos comentaram, na etapa de institucionalização no final da aula, que eles têm, de modo geral, dificuldades na interpretação de texto.

A questão 4 pergunta como era realizada a comunicação entre pontos distantes dentro de um navio no século XIX, informação que havia sido dada em um dos textos do roteiro. Todos alunos responderam com facilidade.

A questão 5 pede para explicar a relação entre o tubo acústico e o estetoscópio. Os grupos A e D encontraram diferenças entre os artefatos. Os grupos B e C consideram que ambos funcionam da mesma forma, embora a explicação não esteja cientificamente correta. Observe as respostas dos alunos B3 e C1: “*Ambos produzem eco para levar o som (B3)*”; e “*Os dois conduzem o som até o ouvido com menos propagação do som (C1)*”. O aluno B3 novamente usa o termo “eco” como algo que é produzido para carregar o som enquanto que o aluno C1 usa a expressão “menos propagação do som” no sentido de “não espalhamento do som em todas as direções”.

Análise dos desafios

Para avaliar o desempenho dos grupos na solução dos desafios, estabelecemos um critério conceitual baseado na solução e nas justificativas das mesmas:

Excelente: solução correta e justificativa correta,

Satisfatória: solução correta e justificativa com terminologias incorretas,

Insatisfatória: solução e justificativa incorretas.

As seguintes questões fazem parte dos desafios propostos aos alunos:

1) Como este casal pode se comunicar sem despertar a atenção dos seqüestradores?

2) Sabendo que o casal não possuía papel e lápis, telefone, etc, existe alguma forma de pedir socorro para alguém fora da casa sem gritar?

3) O casal usava um copo encostado na parede para descobrir se os seqüestradores estavam dormindo ou se haviam saído. Explique por que usar o copo permite ao casal obter melhor informação sobre o outro cômodo.

Na análise das respostas aos desafios, consideramos satisfatória as respostas da questão 1, pois os alunos apresentaram a solução correta, mas não justificaram usando termos científicos de forma clara. O aluno A2, responde: *“A mulher passa o fio para o homem amarrar no fundo do copo”*, sem detalhar que o fio deve estar esticado para comunicação entre eles. Os grupos B e D responderam de forma semelhante.

A resposta do grupo C a esta questão 1 foi: *“A mulher batendo no chão e colocando um copo no chão e o homem batendo no teto”* (C1). Este grupo usou os novos conhecimentos para resolver a questão, mas esperávamos que eles também sugerissem o uso do telefone com fio.

Na questão 2, consideramos satisfatória a solução, pois todos fizeram referência ao encanamento vazio ligando a garagem à rua, mas nenhum explicou o funcionamento do tubo como mostra a resposta de B2: *“Falando no tubo vazio que ligava a garagem até a rua.”*

Os maiores erros aparecem nas respostas da questão três. O termo “eco” é recorrente e foi citado por dois grupos para justificar o uso do copo pelo casal (grupos B e D) para ouvir o que se passava do outro lado da parede. A resposta do grupo A *“O copo aproxima o som”*, já foi usada e analisada em outra questão. A resposta do grupo C, *“Porque o copo é um meio de conduzir o som mais alto até o ouvido”*, é a que mais se aproxima de uma solução satisfatória, mas ainda percebemos na justificativa o uso de concepções inadequadas.

De acordo com a teoria das situações de Brousseau a solução do desafio evidencia a situação de validação, pois os alunos conseguiram utilizar o novo conhecimento em uma situação que para eles era completamente nova.

Reunimos os alunos, no final, para a última etapa da seqüência, a institucionalização, cujo objetivo é fazer uma retomada do que tinha sido trabalhado e discutir os conceitos que foram usados a partir de uma situação particular para solucionar o desafio e generalizá-los. As concepções espontâneas que percebemos durante a atividade foram retomadas com a intenção de esclarecê-las, na tentativa de mostrar aos alunos que elas não estão de acordo com as explicações científicas.

Comentários e considerações finais

Na atividade do **telefone com fio**, observamos um problema geral no primeiro item: a primeira questão pede que os alunos tentem conversar a uma distância de 5m (sem telefone). O problema ocorreu porque a figura do telefone com fio estava acima desta questão e todos os alunos realizaram a comunicação usando o telefone, o que aconteceu com uma certa facilidade. Para solucionar esta questão a figura do telefone será deslocada na questão seguinte, na qual o telefone deve ser usado. Esta confusão não interferiu no objetivo principal do experimento que era

verificar a propagação do som em diferentes meios, mas impediu que os alunos percebessem a dificuldade em ouvir o colega ou mesmo não ouvi-lo a esta distância.

De modo geral, a solução dada pelos alunos ao problema inicialmente proposto foi satisfatória na maioria dos grupos: todos solucionaram o desafio. Mesmo identificando muitas concepções espontâneas, o objetivo principal da atividade foi atingido e os alunos forneceram as soluções para ajudar o casal seqüestrado como havíamos previsto na análise *a priori*.

A testagem e posterior análise da seqüência adidática mostrou-se muito importante para a continuação da nossa pesquisa. Alguns resultados estavam de acordo com a nossa análise *a priori*, confirmando as nossas previsões e expectativas. Outras respostas e manifestações dos alunos nos surpreenderam e serão usadas para modificar e aperfeiçoar a seqüência testada.

Os alunos mostraram muito interesse no tipo de atividade proposta e no manuseio do material experimental, indicando que atividades desafiavam o aluno como a que propomos são bem aceitas e motivam os alunos, satisfazendo o objetivo da nossa proposta: envolver o aluno em uma atividade de modo que ao resolver a situação-problema proposta ele construa novos conhecimentos.

Referências

- ARTIGUE, M. Ingénierie didactique. **Recherches en Didactique des Mathématiques**, vo. 9, n. 3, p. 281-308. La Pensée Sauvage, 1988.
- BRASIL, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio**. Brasília: Ministério da Educação, 1999.
- BROUSSEAU, G. Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. **Recherches en Didactique des Mathématiques**. v.7, n.2, p. 33-115. Grenoble, France: Editions la Pensée Sauvage, 1986.
- FREITAS, J. L. M Situações Didáticas. In: ALCANTARA, S. D. (org). **Educação Matemática: uma Introdução**. São Paulo: EDUC, 1999, p. 65-87.
- GOBARA, S. T. ; PIUBÉLI, Umbelina Giacometti . Contextualização do ensino de Física: Iluminando o Acampamento. In: IX Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2004, Jaboticatubas. Atas do IX Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Belo Horizonte: UFMG, 2004. v. 01. p. 1-12.
- NASCIMENTO, C. S.; GOBARA, S. T., Uma Introdução ao ensino de ondas Sonoras. In: XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2007, São Luis. **Livro do programa do XVII Simpósio**. São Luis, v. 1, p. 1-11, 2007.
- PARANHOS, L. R. L. **Da possibilidade para o real: uma pesquisa-ação sobre a formação de professores reflexivos e autônomos na utilização da Informática na Educação**. 2005. 199f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Programa de pós-graduação em Educação, Campo Grande, 2005.
- PIUBÉLI, U. G., GOBARA, S. T. **Física contextualizada: uma viagem pelo Pantanal**. Campo Grande: Ed. UFMS, 2004.