

**SIMULAÇÕES E LABORATÓRIOS VIRTUAIS COMO RECURSOS  
MEDIACIONAIS MULTIMODAIS NAS AÇÕES DE UM PROFESSOR  
DE FÍSICA**

Belo Horizonte

Faculdade de Educação da UFMG

2016

RENATO PONTONE JUNIOR

**SIMULAÇÕES E LABORATÓRIOS VIRTUAIS COMO RECURSOS  
MEDIACIONAIS MULTIMODAIS NAS AÇÕES DE UM PROFESSOR  
DE FÍSICA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação Conhecimento e Inclusão Social em Educação, da Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Educação.

Orientador: Helder de Figueiredo e Paula

Linha de Pesquisa: Educação e Ciências

Belo Horizonte

Faculdade de Educação da UFMG

2016

P818s T	<p>Pontone Junior, Renato</p> <p>Simulações e laboratórios virtuais como recursos mediacionais multimodais nas ações de um professor de Física/ Renato Pontone Junior. - Belo Horizonte, 2016. 188 f., enc.</p> <p>Tese - (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Educação. Orientador : Helder de Figueiredo e Paula.</p> <p>1. Educação -- Teses. 2. Física – Estudo e ensino – Teses. 3. Ciência – Estudo e ensino – Teses. 4. Simulação (Computadores) -- Teses. 5. Tecnologia educacional - -Teses. I. Título. II. Paula, Helder de Figueiredo e. III. Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Educação.</p>
CDD- 530	

RENATO PONTONE JUNIOR

**SIMULAÇÕES E LABORATÓRIOS VIRTUAIS COMO RECURSOS  
MEDIACIONAIS MULTIMODAIS NAS AÇÕES DE UM PROFESSOR  
DE FÍSICA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação  
Conhecimento e Inclusão Social em Educação,  
da Faculdade de Educação da Universidade  
Federal de Minas Gerais, como requisito parcial  
para obtenção do título de Doutor em Educação.

**BANCA EXAMINADORA:**

**Prof. Dr. Helder de Figueiredo e Paula – UFMG (orientador)**

**Prof. Dr. Orlando Gomes de Aguiar Junior – UFMG**

**Prof. Dr. Francisco Angelo Coutinho – UFMG**

**Prof. Dr. Fabio Augusto Rodrigues e Silva – UFOP**

**Prof. Dr. Adelson Fernandes Moreira – CEFET MG**

**Prof. Dr. Juarez Melgaço Valadares – UFMG (suplente)**

**Prof. Dr. Ronaldo Marchezini – CEFET MG (suplente)**

Belo Horizonte, 08 de julho de 2016

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, o Professor Helder de Figueiredo e Paula, pela parceria nesta empreitada. Muito obrigado pelo tempo e dedicação dispensados em minha orientação. Estou certo de que sem a sua contribuição esta tese não existiria.

Ao professor que abriu as portas de sua sala de aula para a realização desta pesquisa e aos estudantes pela naturalidade com que se comportaram diante das câmeras.

Aos colegas do COLTEC: Alexandre, Arnaldo, João Paulino, Talim e Villani. Obrigado pelo acolhimento e convívio ao longo desses quatro anos em que o COLTEC foi a minha segunda casa.

Aos colegas e à direção do CEFET-MG, pela liberação dos encargos didáticos para que eu pudesse me dedicar à pesquisa. Agradeço também ao DPPG, pelo apoio financeiro necessário à participação em eventos da área.

Ao Professor Orlando Gomes de Aguiar Júnior, por sua disposição em ser meu parecerista, quando esta tese era ainda um projeto de pesquisa. Agradeço também por sua participação na banca de qualificação e por ter acolhido o convite de compor a banca de defesa desta tese.

À Professora Isabel Martins, pelas contribuições dadas na qualificação deste trabalho.

Aos Professores Adelson Fernandes Moreira, Fábio Augusto Rodrigues e Silva, Francisco Ângelo Coutinho, Ronaldo Marchezini e Juarez Melgaço Valadares por aceitarem o convite para compor a banca de defesa desta tese.

Aos colegas doutorandos Alexandre Ferry e Luisa Mejía, pelo período de convivência em que somamos conhecimentos e dividimos angústias e inseguranças.

À colega Vanessa Cappelle, pelo incentivo e por compartilhar comigo suas anotações de leituras sobre multimodalidade.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação Conhecimento e Inclusão Social em Educação, pelos ensinamentos e pelo atendimento sempre cordial.

Ao colega professor Carlos Vinícius, que prontamente atendeu ao meu pedido e escreveu o *abstract* desta tese.

À minha mãe, sempre disposta a criar condições para que eu pudesse me dedicar aos estudos. Saber que podia contar com sua ajuda nas mais variadas situações foi alento para o trabalho.

Não poderia deixar de agradecer às três mulheres que são a razão da minha vida: Déa, Juju e Manu. Obrigado por estarem ao meu lado, entendendo meu distanciamento e minhas alterações de humor, sobretudo nesta reta final.

A Deus, por permitir que o meu caminho se cruzasse com o de tantas pessoas especiais.

*“Sempre que vou escrever alguma coisa,  
eu não sei se vou conseguir.  
É uma aventura...  
o não conseguir está sempre presente.”*

*(Arnaldo Antunes)*

## RESUMO

A pesquisa apresentada nesta tese teve como objetivo investigar como simulações e laboratórios virtuais são usados por um professor de Física experiente para mediar o ensino dessa disciplina. Os referenciais teóricos que fundamentaram a pesquisa foram: 1- a Teoria da Ação Mediada, segundo a qual toda a ação humana é mediada por recursos mediacionais (mediational means) que estão disponíveis em um cenário sociocultural particular; 2- a Teoria Multimodal da Semiótica Social, que estuda os processos de compartilhamento, negociação e produção de sentidos e significados entre sujeitos por meio de modos de comunicação verbais, visuais, gestuais e acionais; 3- os trabalhos do grupo de Wolff-Michael Roth sobre o papel das Inscrições Didáticas no ensino e na aprendizagem das ciências. A pesquisa foi realizada em uma sala de aula de Física de uma escola pública federal dedicada à formação técnica de nível médio. Os principais dados foram gerados por gravações em vídeo de uma sequência de ensino sobre ondulatória, ao longo do último trimestre letivo de 2013. Utilizando nossos referenciais teóricos, concebemos quatro unidades de análise e trilhamos um percurso analítico constituído por três níveis: macro, meso e micro. Nossas análises nos autorizam dizer que: (i) as simulações e os laboratórios virtuais mediaram, direta ou indiretamente, toda a sequência de ensino; (ii) o professor coordena o uso de simulações e laboratórios virtuais com uma diversidade de outros recursos mediacionais, reconhecendo as potencialidades e as limitações dos diferentes recursos; (iii) o professor preocupa-se em auxiliar os estudantes na interpretação dos signos que compõem as inscrições didáticas expostas nas telas dos aplicativos; (iv) ao mediar a interação do estudantes com simulações e laboratórios virtuais, o professor orchestra múltiplos modos de comunicação para explicar e reforçar conceitos-chave e inscrições didáticas. Nas considerações finais, implicações dos resultados dessa análise para a pesquisa em ensino de ciências e para a prática docente são apresentadas e discutidas.

**Palavras-chave:** simulações e laboratórios virtuais, ensino de ciências, ação mediada, multimodalidade, inscrições didáticas.

## ABSTRACT

The research presented in this thesis had an aim to investigate how simulations and virtual labs are used by an experienced teacher of physics to mediate the teaching from this subject. The theoretical frameworks which supported the research were: 1- the Theory of Mediated Action, which says all human actions are mediated by mediational means available in a particular sociocultural setting; 2- the Multimodal Theory of Social Semiotics, which studies the process of sharing, negotiation and production of means and meanings among subjects through verbal, visual, gestural and actional modes of communication; 3- the works of Wolff-Michael Roth's group about the role from didactic inscriptions in teaching and learning of science. The research was conducted in a physics classroom from a federal public school dedicated to the mid-level technical training. The main *data* were generated by video recordings of a teaching sequence about wave, along the last academic quarter of 2013. Taking for granted our theoretical frameworks, we conceived four units of analysis and we developed an analytical scheme consisted of three levels: *macro*, *meso* and *micro*. Our analyses allow us to say that: (i) the simulations and virtual labs mediated, directly or indirectly, the entire teaching sequence; (ii) the teacher coordinates the use of simulations and virtual labs with a variety of other mediational resources; (iii) the teacher assists students in interpretation of signs which make up the exposed didactic inscriptions on the applicative screens; (iv) by measuring the interaction of students with simulations and virtual labs, the teacher orchestrates multiple modes of communication to explain and reinforce key concepts and didactic inscriptions. In the final considerations, implications of the results from this analysis for a research in teaching of science and teaching practice are presented and discussed.

**Keywords:** simulations and virtual labs, science teaching, mediated action, multimodality, didactic inscriptions.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

TABELA 1: Resultado da pesquisa dos artigos por periódico .....	17
TABELA 2: Resultado da pesquisa nos periódicos nacionais .....	18
FIGURA 1: Representação esquemática do Pentagrama de Burke.....	26
FIGURA 2: <i>Continuum</i> no qual se distribuem os diferentes tipos de inscrições. ....	41
FIGURA 3: Captura de tela do aplicativo <i>Interferência de ondas</i> do Phet.....	43
FIGURA 4: Diagrama elaborado pelo nosso grupo de pesquisas com as funções gestuais propostas por Kendon (2004).....	46
FIGURA 5: Croquis das salas de aula onde a pesquisa foi realizada.....	49
FIGURA 6: Captura de tela do aplicativo <i>Onda em Corda</i> com a configuração padrão	97
FIGURA 7: Captura de tela do aplicativo <i>Onda em Corda</i> com as configurações definidas pelo professor no segmento 2 da aula do dia 07/10/2013 .....	99
FIGURA 8: Captura de tela do aplicativo <i>Onda em Corda</i> com as configurações definidas pelo professor no segmento 1 da aula do dia 21/10/2013 .....	132
FIGURA 9: Captura de tela do aplicativo <i>Onda em Corda</i> com uma das configurações usadas no segmento 2 da aula do dia 04/11/13.....	160
FIGURA 10: Captura de tela do aplicativo <i>Onda em Corda</i> com outra configuração usada no segmento 2 da aula do dia 04/11/13 .....	161
QUADRO 1: Unidades e níveis de análise utilizadas na pesquisa.....	51
QUADRO 2: Os cinco elementos constituintes das ações complexas que compuseram as aulas analisadas .....	52
QUADRO 3: Estrutura do primeiro quadro construído para organizar os registros das aulas.....	54
QUADRO 4: Estrutura do segundo quadro construído para organizar os registros das aulas.....	55
QUADRO 5: Estrutura do terceiro quadro construído para organizar os registros das aulas.....	55
QUADRO 6: Uso dos recursos nas aulas .....	56
QUADRO 7: Exemplo de quadro com frequência de uso do computador e dos artefatos para experimentos na sequência de ensino .....	56
QUADRO 8: Descrição do segmento 1 da primeira aula.....	60
QUADRO 9: Descrição do segmento 2 da primeira aula.....	61
QUADRO 10: Descrição do segmento 3 da primeira aula.....	63
QUADRO 11: Datas, duração e temas das aulas.....	65
QUADRO 12: Temas das aulas e recursos utilizados pelo professor .....	66
QUADRO 13: Segmentação das aulas e caracterização do uso de simulações e laboratórios virtuais. ....	67
QUADRO 14: Formas de uso dos recursos nas aulas .....	68
QUADRO 15: Frequência de uso do computador e dos artefatos para experimentos ..	70
QUADRO 16: Ícones usados para representar gestos e ações .....	74
QUADRO 17: Descrição do segmento 2 da primeira aula.....	79
QUADRO 18: Descrição do segmento 1 da aula do dia 21/10/2013 .....	107
QUADRO 19: Descrição do segmento 2 da aula do dia 04/11/2013 .....	141

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>1.1. APRESENTAÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>1.2. CARACTERIZAÇÃO DO PESQUISADOR</b> .....	<b>13</b>
<b>1.3. CARACTERIZAÇÃO DAS PESQUISAS SOBRE SIMULAÇÕES E LABORATÓRIOS VIRTUAIS</b> .....	<b>16</b>
1.3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	16
1.3.2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS PESQUISAS .....	19
1.3.3. PRINCIPAIS ACHADOS DAS PESQUISAS EMPÍRICAS E DAS REVISÕES BIBLIOGRÁFICAS .....	22
<b>1.4. JUSTIFICATIVAS</b> .....	<b>23</b>
<b>2. REFERENCIAIS TEÓRICO-METODOLÓGICOS</b> .....	<b>25</b>
<b>2.1. A ABORDAGEM SOCIOCULTURAL E A TEORIA DA AÇÃO MEDIADA</b> .....	<b>25</b>
2.1.1. PROPRIEDADES DA AÇÃO MEDIADA .....	27
<b>2.2. SEMIÓTICA SOCIAL E MULTIMIDIALIDADE</b> .....	<b>34</b>
2.2.1. MODOS DE COMUNICAÇÃO .....	37
<b>2.3. INSCRIÇÕES DIDÁTICAS</b> .....	<b>40</b>
2.3.1. INSCRIÇÕES DIDÁTICAS NAS SIMULAÇÕES E LABORATÓRIOS VIRTUAIS .....	43
<b>2.4. UM REFERENCIAL PARA O ESTUDO DOS GESTOS</b> .....	<b>45</b>
<b>3. MÉTODO E CONTEXTO DA PESQUISA</b> .....	<b>48</b>
<b>3.1. CONTEXTO DE ESTUDO E PARTICIPANTES</b> .....	<b>48</b>
<b>3.2. INSTRUMENTOS E ESTRATÉGIAS PARA O REGISTRO DOS DADOS</b> .....	<b>50</b>
<b>3.3. APRESENTAÇÃO DAS UNIDADES DE ANÁLISE</b> .....	<b>51</b>
<b>3.4. ESTRATÉGIAS DE ANÁLISE</b> .....	<b>53</b>
3.4.1. INÍCIO DO PROCESSO DE ANÁLISE .....	53
3.4.2. MACROANÁLISE .....	54
3.4.3. MESOANÁLISE.....	57
3.4.4. MICROANÁLISE.....	57
<b>3.5. CUIDADOS ÉTICOS</b> .....	<b>58</b>
<b>4. MESO E MACROANÁLISE DOS DADOS</b> .....	<b>59</b>
<b>4.1. EXEMPLO DE MESOANÁLISE</b> .....	<b>59</b>
<b>4.2. CARACTERIZAÇÃO GERAL DO USO DE SIMULAÇÕES E LABORATÓRIOS VIRTUAIS</b> .....	<b>65</b>
<b>5. MESO E MICROANÁLISE DOS DADOS</b> .....	<b>73</b>
<b>5.1. PADRÃO USADO NA TRANSCRIÇÃO DOS SEGMENTOS</b> .....	<b>73</b>
<b>5.2. SEGMENTO 2 DA AULA DO DIA 07/10/2013</b> .....	<b>76</b>

5.2.1. DESCRIÇÃO DA AULA .....	76
5.2.2. DESCRIÇÃO DO SEGMENTO.....	79
5.2.3. TRANSCRIÇÃO DO SEGMENTO .....	80
Subsegmento SS1 para o qual atribuímos a intenção retórica de apresentação do aplicativo .....	80
Subsegmento SS2 para o qual atribuímos a intenção retórica de caracterização das ondas transversais .....	83
Subsegmento SS3 para o qual atribuímos a intenção retórica de esclarecimento de dúvidas dos estudantes.....	87
Subsegmento SS4 para o qual atribuímos a intenção retórica de caracterização das ondas periódicas .....	89
5.2.4. AS INSCRIÇÕES DIDÁTICAS QUE COMPÕEM O APLICATIVO .....	97
5.2.5. POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES DO APLICATIVO E FUNÇÕES DOS MODOS DE COMUNICAÇÃO USADOS NO SEGMENTO.....	99
5.2.6. ORQUESTRAÇÃO DOS MODOS DE COMUNICAÇÃO NO SEGMENTO .....	102
<b>5.3. SEGMENTO 1 DA AULA DO DIA 21/10/2013 .....</b>	<b>104</b>
5.3.1. DESCRIÇÃO DA AULA .....	104
5.3.2. DESCRIÇÃO DO SEGMENTO.....	107
5.3.3. TRANSCRIÇÃO DO SEGMENTO .....	109
Subsegmento SS1 para o qual atribuímos a intenção retórica de estudo do efeito de mudanças na tensão aplicada na corda sobre a velocidade das ondas.....	109
Subsegmento SS2 para o qual atribuímos a intenção retórica de verificação de um eventual efeito de mudanças da amplitude sobre a velocidade da onda .....	113
Subsegmento SS3 para o qual atribuímos a intenção retórica de apresentação do conceito de fase.....	120
Subsegmento SS4 para o qual atribuímos a intenção retórica de apresentação da relação entre comprimento de onda, frequência e velocidade .....	126
5.3.4. FUNÇÕES DOS MODOS DE COMUNICAÇÃO USADOS NO SEGMENTO ..	131
5.3.5. POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES DO APLICATIVO .....	134
5.3.6. ORQUESTRAÇÃO DOS MODOS DE COMUNICAÇÃO NO SEGMENTO .....	135
<b>5.4. SEGMENTO 2 DA AULA DO DIA 04/11/2013 .....</b>	<b>137</b>
5.4.1. DESCRIÇÃO DA AULA .....	137
5.4.2. DESCRIÇÃO DO SEGMENTO.....	141
5.4.3. TRANSCRIÇÃO DO SEGMENTO .....	142
Subsegmento SS1 para o qual atribuímos a intenção retórica de estudo da reflexão de um pulso ondulatório.....	142
Subsegmento SS2 para o qual atribuímos a intenção retórica de explicitação das razões pelas quais ocorre inversão de fase no pulso refletido .....	144

Subsegmento SS3 para o qual atribuímos a intenção retórica de sistematização da explicação dada nos subsegmentos anteriores.....	146
Subsegmento SS4 para o qual atribuímos a intenção retórica de estudo da superposição de dois pulsos idênticos.....	147
Subsegmento SS5 para o qual atribuímos a intenção retórica de comparação entre interpretações da superposição de pulsos .....	150
Subsegmento SS6 para o qual atribuímos a intenção retórica de repetição, sob demanda, do último fenômeno produzido no subsegmento anterior .....	154
Subsegmento SS7 para o qual atribuímos a intenção retórica de sistematização das ideias discutidas nos subsegmentos SS4 a SS6 .....	155
Subsegmento SS8 para o qual atribuímos a intenção retórica de exemplificação do princípio de superposição.....	156
Subsegmento SS9 para o qual atribuímos a intenção retórica de estudo da superposição de dois pulsos com amplitudes diferentes.....	158
5.4.4. FUNÇÕES DOS MODOS DE COMUNICAÇÃO USADOS NO SEGMENTO ..	160
5.4.5. POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES DO APLICATIVO .....	163
5.4.6. ORQUESTRAÇÃO DOS MODOS DE COMUNICAÇÃO NO SEGMENTO .....	165
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>169</b>
<b>6.1. RETORNANDO ÀS QUESTÕES DE PESQUISA .....</b>	<b>169</b>
<b>6.2. AVALIAÇÃO DO TRABALHO E SUAS POSSÍVEIS CONTRIBUIÇÕES .....</b>	<b>173</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>176</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>180</b>
ANEXO I – ATIVIDADES DO TERCEIRO SEGMENTO DE AULA DO DIA 07/10/2013.....	180
ANEXO II - ATIVIDADES 1 E 2 DO <i>E-BOOK</i> : ATIVIDADES EM UM LABORATÓRIO VIRTUAL DE ONDULATÓRIA .....	181
ANEXO III – ATIVIDADE SOBRE RESSONÂNCIA USADA NO SEGUNDO SEGMENTO DE AULA DO DIA 21/10/2013.....	187
ANEXO IV – ATIVIDADE SOBRE INTERFERÊNCIA USADA NA AULA DO DIA 04/11/2013.....	188

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. APRESENTAÇÃO

A pesquisa descrita nesta tese tem como objeto o uso, em aulas de Física, de aplicativos de computador que executam simulações e laboratórios virtuais. Ela foi produzida em torno do seguinte problema: como simulações e laboratórios virtuais medeiam o ensino da Física em uma sala de aula na qual um professor experiente faz uso sistemático desses recursos?

Em nosso trabalho, as simulações e os laboratórios virtuais são concebidos como recursos mediacionais multimodais que reúnem inscrições didáticas especialmente elaboradas para representar fenômenos e introduzir os estudantes no uso de modelos e teorias da Física Escolar. Essa concepção emerge de uma articulação entre conceitos oriundos: (i) da Teoria da Ação Mediada, de James Werstch; (ii) da Teoria Multimodal da Semiótica Social, tal como concebida por Gunther Kress e colaboradores; (iii) dos estudos sobre o papel das Inscrições Didáticas no ensino e na aprendizagem das ciências, que nos remete aos trabalhos de Wolff-Michael Roth e colaboradores. Esses três referenciais foram reunidos por serem amplamente coerentes com a abordagem sociocultural introduzida por Vygostsky, que constitui o marco mais geral da pesquisa realizada.

Esse olhar teórico sobre o objeto nos levou a desdobrar o problema geral, perseguido nessa tese, em quatro questões de pesquisa: 1- como e com que frequência simulações e laboratórios virtuais são usados na sala de aula desse professor? 2- nessa sala de aula, esses aplicativos de computador desempenham um papel relevante nas atividades mediadas por outros recursos? 3- que potencialidades e limitações nós podemos atribuir ao uso que o professor faz desses aplicativos de computador? 4- como o professor utiliza múltiplos modos de comunicação para mediar a interação dos estudantes com as simulações e os laboratórios virtuais?

Os dados que constituem o corpus da pesquisa foram gerados a partir de gravações, em áudio e vídeo, de aulas ocorridas em uma escola de Ensino Médio Técnico Integrado, que é vinculada a uma instituição federal de ensino superior. Essas aulas ocorreram ao

longo do último trimestre letivo do ano de 2013 e constituíram uma sequência de ensino sobre ondulatória.

Procuramos responder às questões 1 e 2 com uma macroanálise dos dados que se referem a toda a sequência de ensino. A macroanálise, apresentada no capítulo 4, também serviu para identificarmos segmentos das aulas que foram selecionados para a realização de uma análise mais densa, por meio da qual procuramos responder às questões 3 e 4. Essa análise densa, descrita no capítulo 5, é constituída por três estágios. No primeiro, descrevemos os segmentos selecionados para análise dentro do contexto da aula em que eles ocorreram. No segundo, apresentamos e analisamos transcrições das interações entre professor e estudantes durante cada um desses segmentos. No terceiro, identificamos potencialidades e limitações das inscrições didáticas que compõem as simulações e laboratórios virtuais usados pelo professor. Nesse nível de análise pudemos compreendermos porque o professor combinou simulações e laboratórios virtuais com o uso de artefatos para a realização de experimentos.

No capítulo 2, fazemos uma exposição dos referenciais teóricos que orientaram nossa análise. Os procedimentos metodológicos de registro e análise dos dados são apresentados no capítulo 3.

No primeiro capítulo, após esta seção de apresentação, o leitor encontrará uma breve caracterização do pesquisador. Em seguida, há uma revisão de literatura sobre o uso de simulações e laboratórios virtuais no ensino de ciências, produzida para situar nosso objeto de pesquisa no campo do qual ele faz parte. Um discurso sobre a relevância do nosso problema de pesquisa encerra o capítulo.

## **1.2. CARACTERIZAÇÃO DO PESQUISADOR**

Considerando o pesquisador um ser social que leva para a pesquisa tudo que o constitui como sujeito em interação com o ambiente sócio-histórico em que vive, decidi apresentar um breve histórico da minha trajetória de formação docente, a partir da qual me constituí como professor e pesquisador em Educação em Ciências.

Desde 1994, quando iniciei o curso de Licenciatura em Física, tenho me interessado por recursos didáticos para o ensino de Física. Nessa ocasião, trabalhei, por

aproximadamente dois anos nos laboratórios de ensino de Física dos colégios Batista Mineiro e Pitágoras e pude constatar que a realidade que eu vivi como estudante de ensino técnico no CEFET-MG não era observada nessas escolas. Os recursos usados pelos professores se limitavam quase exclusivamente a aulas expositivas, mediadas por quadro e giz. Ainda que essas escolas contassem com laboratórios e alguns experimentos fossem realizados, eles eram pouco e mal explorados, diferentemente do que acontecera no CEFET-MG, onde tínhamos aulas semanais de laboratório de Física, além de exibições regulares dos filmes do PSSC. Esse contexto acabou por despertar meu interesse por recursos didáticos para o ensino de Física e, mais especificamente, pela pesquisa de atividades práticas do tipo trabalho de bancada.

Logo após minha passagem pelos colégios citados, obtive minha primeira bolsa de pesquisa, participando do programa PROLICEN. Sob a orientação do professor Carlos Heitor D'Ávila, do departamento de Física da UFMG, elaborei um guia de demonstrações em sala de aula com o objetivo de auxiliar professores em demonstrações didáticas com o gerador Van de Graaff e com um gerador de ondas mecânicas.

Em 1996, ainda cursando a licenciatura, iniciei minha trajetória docente, lecionando no Collegium, uma escola que se dizia construtivista, e no Colégio Batista Mineiro, onde permaneci por dez anos.

Em 1997, participei de outro programa de pesquisa em ensino, o Programa de Apoio à Formação de Professores e à Docência em Ciências e Matemática nos Ensinos Médio e Fundamental, sob a orientação da professora Maria Sylvania Silva Dantas do departamento de Física da UFMG. O projeto do qual participei, denominado Laboratório de Apoio Didático, estava voltado para o uso de sensores e interfaces de computador nas atividades de laboratório. Elaboramos atividades práticas para serem realizadas com esses equipamentos e avaliamos suas potencialidades e limitações. Naquela época, sensores e interfaces eram as últimas novidades em recursos didáticos para o ensino de Física.

Ainda em 1997, participei do XII SNEF (em janeiro) e da 5ª SBPC Jovem (em julho). Nas duas ocasiões estive envolvido com o uso de recursos para o ensino de Física. Na primeira ocasião, atuei como monitor em um curso em que os participantes eram

convidados a explorar um equipamento para o estudo do efeito fotoelétrico e outro destinado à análise de raias espectrais. Na segunda, ofertei uma oficina denominada “A Física de alguns brinquedos”. Nessa oficina, eram trabalhados os princípios físicos de alguns brinquedos construídos na própria oficina com materiais de baixo custo.

Em todas essas situações, a busca por recursos didáticos para o ensino de Física não foi acompanhada da devida reflexão teórica, mas conduzida com vistas a despertar nos meus alunos o interesse pela Física e possibilitar-lhes uma melhor compreensão dessa ciência.

A reflexão teórica, inicialmente proporcionada pelos primeiros contatos com as pesquisas em Ensino de Física nas aulas de Prática de Ensino, tornou-se mais sistemática a partir de 1998, ano em que iniciei o curso de Especialização em Ensino de Ciências.

Embora eu estivesse muito interessado em desenvolver um trabalho de fundamentação teórica do uso de diferentes recursos didáticos no ensino de Física, circunstâncias profissionais acabaram me colocando em contato com outra questão de fundamental importância na Educação: a avaliação da aprendizagem. Desta forma, a avaliação da aprendizagem foi meu principal objeto de estudo durante os anos da Especialização e do Mestrado (1998 a 2003).

Os anos seguintes, 2004 a 2008, foram dedicados quase exclusivamente à docência. Nesse período, devido à falta de tempo decorrente do número excessivo de aulas semanais, a reflexão teórica sobre a prática docente deu lugar à necessidade pragmática de planejar e organizar a minha rotina de trabalho: elaboração e correção de provas, preenchimento de diários, participação em reuniões pedagógicas e conselhos de classe. Entretanto, a preocupação em diversificar os recursos didáticos nas aulas continuava sendo uma constante em meu trabalho. Sem a devida reflexão teórica, mas com uma intuição de que estava no caminho certo, continuava pesquisando atividades práticas, demonstrações, filmes, experiências em vídeo e toda uma gama de recursos que pudessem contribuir para melhorar a aprendizagem dos alunos.

O ano de 2009 foi um divisor de águas. Aprovado em concurso público, retornei ao CEFET-MG como professor de ensino básico, técnico e tecnológico. Considero minha ida para o CEFET um divisor de águas porque ela permitiu retomar a reflexão teórica

sobre minha prática docente. Sem o número excessivo de aulas dos anos anteriores, eu pude me envolver em grupos de estudos que buscavam, nas pesquisas em Ensino de Ciências, a fundamentação teórica para a ação docente.

Tão logo cheguei ao CEFET-MG, orientei um trabalho de Iniciação Científica Júnior cujo objetivo era criar um acervo de recursos didáticos para o ensino dos tópicos de Física Moderna da grade curricular do Ensino Médio. Durante a orientação do trabalho, conheci o Phet (sigla em inglês para Tecnologia Educacional em Física), um projeto da Universidade do Colorado que pesquisa e desenvolve simulações de computador na área de Ensino de Ciências. As simulações são disponibilizadas em um portal e podem ser usadas on-line ou baixadas gratuitamente por qualquer usuário. A partir desse primeiro contato com o Phet, surgiu meu interesse por simulações e laboratórios virtuais.

A participação, a partir de 2011, no grupo de pesquisa “Mediação Pedagógica na Educação em Ciências”, coordenado pelos Professores Helder de Figueiredo e Paula, meu orientador, e Adelson Fernandes Moreira, meu colega de trabalho no CEFET-MG, promoveu a minha aproximação com as concepções de multimodalidade, mediação semiótica, ação mediada e sistema de atividade.

### **1.3. CARACTERIZAÇÃO DAS PESQUISAS SOBRE SIMULAÇÕES E LABORATÓRIOS VIRTUAIS**

#### **1.3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

A fim de dimensionarmos a possível contribuição da nossa pesquisa para o debate sobre o papel das simulações e dos laboratórios virtuais no campo da educação em ciências, realizamos uma revisão da literatura recente sobre o uso desses recursos. Essa revisão foi orientada pelas seguintes questões: i) que preocupações e objetos de estudo têm orientado as pesquisas recentes sobre o uso de simulações e laboratórios virtuais no ensino de ciências? ii) que referenciais teóricos sustentam essas pesquisas? iii) quais são os métodos, procedimentos de análise e instrumentos de coleta de dados nelas utilizados?

Procuramos também comparar o quadro atual das pesquisas sobre esses recursos com aquele apontado em revisões anteriores. Araújo e Veit (2004), em revisão da literatura sobre estudos relativos a tecnologias computacionais no ensino de física publicados

entre 1990 e 2003, verificaram que a produção de pesquisas nessa área era muito baixa. Scalise et al. (2011), fizeram uma revisão de 79 estudos publicados entre 1995 e fevereiro de 2009 para identificar possíveis avanços promovidos pelo uso de simulações e laboratórios virtuais no ensino de ciências nos níveis fundamental e médio. Nessa revisão, os autores também apontaram para a incipiência das pesquisas na área.

Sentindo-nos contemplados pelo trabalho de Scalise et al. (2011), decidimos realizar nossa revisão de literatura no período posterior ao investigado pelos autores. Por isso, procuramos por artigos publicados entre 2009 e 2014.

Realizamos a pesquisa no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Dois foram os motivos que nos levaram a utilizar esse Portal: i) ele reúne e disponibiliza uma parte significativa da produção científica internacional; ii) ele permite aos pesquisadores vinculados às instituições federais de ensino superior acesso livre e gratuito.

Na primeira etapa da revisão, usamos a expressão booleana ("interactive simulations" OR "virtual laboratories" OR "computer simulations" OR "virtual labs") AND ("physics teaching" OR "science teaching" OR "science education" OR "science classroom" OR "physics classroom"). Isso nos deu acesso a 260 artigos em inglês e espanhol, tendo em vista que os termos da expressão booleana incidiam sobre as keywords presentes em trabalhos escritos em todas as línguas. Posteriormente, fizemos uma leitura dos títulos e dos resumos dos artigos para identificar trabalhos com foco no ensino de ciências. Excluímos estudos sobre educação a distância e usos da internet porque, nesses casos, o papel mediador das simulações e dos laboratórios virtuais na sala de aula, que constitui nosso objeto de pesquisa, não seria contemplado. Restaram 32 artigos, todos em língua inglesa, distribuídos nos periódicos listados na tabela 1.

**TABELA 1: Resultado da pesquisa dos artigos por periódico**

<b>Periódico</b>	<b>Quantidade de artigos</b>
Chemistry Education. Research and Practice	2
Computers & Education	5
Journal of Baltic Science Education	2
Journal of Educational Technology & Society	4

Journal of Research in Science Teaching	3
Journal of Science Education and Technology	6
Learning and Instruction	2
Modern Applied Science	1
Physics Education	1
Research in Science Education	2
Science	1
Science and Children	1
The Science Teacher	2

Consultamos também todos os periódicos nacionais voltados para o ensino de física/ciências classificados no Qualis da CAPES nos estratos A1 e A2 na área de educação ou na área de ensino. Além disso, incluímos um periódico classificado como B1, o Caderno Brasileiro de Ensino de Física, pelos seguintes motivos. Em primeiro lugar por se tratar de uma referência antiga e muito consultada na área de ensino de Física. Em segundo lugar por que esse periódico lançou em 2012 dois números especiais sobre “Ensino de Física mediado por tecnologias”. Em terceiro lugar porque, desde então, esse periódico tem dedicado uma seção especial para publicação de trabalhos nessa área. Os 11 artigos encontrados em periódicos nacionais seguem relacionados na tabela 2.

**TABELA 2: Resultado da pesquisa nos periódicos nacionais**

<b>Periódico</b>	<b>QUALIS</b>	<b>Quantidade de artigos</b>
Caderno Brasileiro de Ensino de Física	B1(Educação) B1(Ensino)	6
Ciência & Educação	A1(Educação) A1(Ensino)	1
Ensaio - Pesquisa em Educação e Ciências	A2(Educação) A2(Ensino)	0
Revista Brasileira de Ensino de Física	B2(Educação) A1(Ensino)	4
Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências	A2(Educação) A2(Ensino)	0
Revista Investigações em Ensino de Ciências	A2(Educação) A2(Ensino)	0

Na terceira etapa da revisão, utilizamos o instrumento proposto por Mosteller, Nave e Miech (2004) nos 43 artigos nacionais e internacionais mencionados nas tabelas 1 e 2 para identificar os seguintes itens: 1) questão de pesquisa; 2) onde a pesquisa foi realizada; 3) sujeitos da pesquisa; 4) desenho da pesquisa; 5) instrumentos de coleta de dados; 6) procedimentos de análise; 7) resultados e conclusões. Relatos de experiência e ensaios geralmente não contêm todos esses elementos e foram mapeados de forma mais livre. Quando esse mapeamento sugeriu maior possibilidade de diálogo de um artigo com a nossa pesquisa, procedemos a uma leitura mais cuidadosa do trabalho selecionado.

### **1.3.2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS PESQUISAS**

Constatamos que a maior parte das pesquisas recentes sobre o uso de simulações e laboratórios virtuais é empírica (32 artigos ou ~74% do total). Relatos de experiências correspondem a 6 artigos (~14%). Revisões de literatura contemplam 3 artigos (~7%). Um trabalho apresenta uma proposta de ensino baseado no uso de simulações para o ensino de história das ciências. Outro trabalho faz uma análise de conteúdo de 233 simulações e laboratórios virtuais disponíveis na internet.

A maioria das pesquisas empíricas compara o laboratório virtual e o laboratório real (e.g. ZACHARIA & OLYMPIOU, 2011; MENDES, COSTA & DE SOUSA, 2012; ANDERSON & BARNETT, 2013). Esses trabalhos: (a) avaliam os efeitos desses tipos de laboratório na aprendizagem dos estudantes com intuito de identificar se um deles poderia ser considerado superior ao outro; (b) caracterizam as situações em que cada um desses dois tipos de laboratório, supostamente, seria mais adequado que o outro. Uma quantidade menor de trabalhos avalia a eficácia de simulações e laboratórios virtuais para: (a) promover e motivar a aprendizagem (e.g. LAMB & ANNETTA, 2013); (b) promover mudança conceitual nos estudantes (e.g. COPPOLA et al, 2013); (c) eliminar atitudes negativas em relação à ciência escolar (e.g. ZAHOREC, HASKOVA & BILEK, 2014). Por fim, um número menor de pesquisas compara diferentes tipos de simulações e laboratórios virtuais usando como critérios: (a) efeitos do grau de interatividade desses recursos na aprendizagem dos estudantes, (b) efeitos do design de simulações e laboratórios virtuais na motivação e nas reações dos estudantes (e.g. CHEN et al, 2011; BRYAN & SLOUGH, 2009).

Na maior parte dos artigos analisados, não encontramos menções explícitas ao referencial teórico adotado na pesquisa ou a referenciais teóricos que poderiam orientar o uso desses recursos em sala de aula. Apenas 9 artigos dentre as 32 pesquisas empíricas (~28%) apresentaram reflexões acerca das bases teóricas para o ensino de ciências mediado por simulações e laboratórios virtuais. Paula e Talim (2012) investigam a percepção de estudantes sobre o uso de um laboratório virtual como recurso de ensino e aprendizagem. Eles utilizam os conceitos de mediação, ação mediada e recursos mediacionais, oriundos da teoria da ação mediada de James Werstch, para fornecer uma interpretação teórica das escolhas que os levaram a coordenar o laboratório virtual com outros recursos educacionais. Cardoso e Dickman (2012), tanto quanto Mendes, Costa e de Sousa (2012) utilizam a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel como um possível fundamento pedagógico para o uso de simulações e laboratórios virtuais. Dorneles, Araujo e Veit (2012) apresentam uma proposta didática baseada nos princípios de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa, propostos por Ausubel, e na afirmação da importância da interação social como base da aprendizagem que eles atribuem a Vygotsky. Esses autores também usam a epistemologia de Bunge para conceber atividades que propiciem a exploração dos contextos de validade dos modelos teóricos subjacentes às simulações computacionais.

Os outros 5 trabalhos ainda não mencionados utilizam: 1- a teoria da mudança conceitual de Vosniadou (TRUNDLE & BELL, 2010); 2- as ideias de Wittwer e Renkl sobre características de explicações em sala de aula (GEELAN, 2013); 3- a teoria do processamento da informação de Marton and Säljö (PSYCHARIS, 2011); 4- os momentos pedagógicos de Delizoicov (MACÊDO, DICKMAN & ANDRADE, 2012); 5- os ciclos de modelagem de David Hestenes (HEIDEMANN, ARAUJO & VEIT, 2012).

A menor participação de trabalhos que explicitam referenciais teóricos e considerações sobre o ensino e a aprendizagem no montante das pesquisas nessa área foi constada em revisões anteriores. A esse respeito, Araujo e Veit (2004) já nos diziam que:

No Ensino de Física comumente confunde-se pesquisa e desenvolvimento instrucional e isso pode estar ocorrendo novamente na área das tecnologias computacionais aplicadas ao Ensino de Física. No passado era comum confundir-se

a produção de equipamento de laboratório ou a produção de livros e vídeos didáticos com pesquisa em ensino de Física. Agora a confusão pode estar na produção de *softwares*, simulações e laboratórios virtuais e outros recursos computacionais. Se assim for, podemos estar testemunhando, outra vez, um grande desperdício de esforços e entusiasmo. Não se melhora o ensino simplesmente produzindo novos e sofisticados recursos instrucionais. O desenvolvimento instrucional deve estar acoplado à pesquisa em ensino ou, pelo menos, levar em conta o conhecimento produzido pela pesquisa em ensino e os enfoques teóricos sobre aprendizagem compartilhados pela comunidade de educadores e pesquisadores em Ensino de Física. Usar tecnologias computacionais no Ensino de Física sem, pelo menos, um referencial teórico sobre aprendizagem, sem, no mínimo, uma concepção teórica sobre como o sujeito aprende, pode ser um erro igual ao já cometido com os equipamentos, livros, vídeos e outros recursos instrucionais. (ARAÚJO & VEIT, 2004, p.8)

Em relação aos métodos e procedimentos de coleta de dados, constatamos um predomínio da comparação de resultados de aprendizagem mediante o contraste entre grupos experimentais e grupos de controle e/ou a aplicação de pré-testes e pós-testes. Em menor proporção, encontramos o emprego de registros em áudio e vídeo, de entrevistas semi-estruturadas, de inventários padronizados, de grupos focais, de notas de caderno de campo e de questionários. Tais instrumentos, às vezes, são coordenados com pré-testes e pós-testes.

No que diz respeito à análise dos dados, predomina o uso de estatística descritiva, com cálculo de médias e covariância. O uso de análise de conteúdo e de interpretação qualitativa é menos frequente.

Em relação aos sujeitos da pesquisa, os participantes de onze (11) das trinta e duas (32) pesquisas empíricas eram estudantes de ensino médio. Em seis (6) pesquisas os sujeitos eram estudantes de ensino fundamental. Em outras seis (6) os sujeitos eram estudantes de graduação. Cinco (5) pesquisas tinham professores em formação como sujeitos e quatro (4) investigaram o uso de simulações e laboratórios virtuais por professores em atividade.

Os tópicos de ensino abordados nas pesquisas vinculam-se, predominantemente, ao ensino de física (16 pesquisas) e ao ensino de química (11 pesquisas).

### **1.3.3. PRINCIPAIS ACHADOS DAS PESQUISAS EMPÍRICAS E DAS REVISÕES BIBLIOGRÁFICAS**

As pesquisas apresentam resultados, em certa medida, contraditórios. Algumas sugerem que os efeitos das simulações e dos laboratórios virtuais na aprendizagem dos estudantes são superiores aos dos laboratórios reais, outras não confirmam essa superioridade. Udo & Etiubon (2011) investigaram a eficácia das simulações de computador no desempenho em química de estudantes de ensino médio em comparação com o ensino por investigação e com os métodos de ensino expositivos tradicionais. Eles constataram que os estudantes que usaram simulações tiveram desempenho significativamente melhor do que os submetidos ao método expositivo tradicional. O uso de simulações, por outro lado, apresentou desempenho comparável ao obtido na abordagem de ensino por investigação. Hawkins & Phelps (2013) compararam o laboratório tradicional com o laboratório virtual em um curso de eletroquímica oferecido na disciplina de Laboratório de Química Geral de um curso de graduação. Seus resultados contradisseram aqueles obtidos por Udo & Etiubon (2011). Foram oferecidos dois cursos de Laboratório de Química Geral aos estudantes que participaram da pesquisa: um tradicional e outro baseado em simulações de computador. Todos os dois grupos obtiveram resultados equivalentes em testes de aferição de compreensão conceitual e na montagem prática de uma célula eletroquímica.

Várias pesquisas recomendam a combinação de simulações e laboratórios virtuais com experimentação real (e.g. DORNELES, VEIT & ARAUJO, 2009; HEIDEMANN, ARAUJO & VEIT, 2012; PAULA & TALIM, 2012). Os resultados de Zacharia & Olympiou (2011) não sustentam essa recomendação. Nesse trabalho, os autores montaram quatro grupos experimentais e um grupo controle. Esse último utilizou apenas o texto didático. Os outros utilizaram: (a) apenas o laboratório virtual (LV); (b) apenas o laboratório real (LR); (c) LV sucedido por LR; (d) LR sucedido por LV. Não houve diferenças significativas entre esses quatro grupos nos testes de compreensão conceitual. Por outro lado, todos apresentaram resultados superiores àqueles obtidos pelo grupo de controle. A pesquisa de Zacharia & Olympiou (idem) apresenta um problema típico de outros trabalhos encontrados na área. Os autores compararam resultados de testes realizados por diferentes grupos de alunos e interpretam esses resultados como se eles pudessem ser imputados, única e exclusivamente, ao uso ou a ausência de uso de dado recurso educacional.

Rutten et al (2012) realizaram uma revisão da literatura de pesquisas sobre os efeitos de simulações de computador no ensino de ciências, publicadas entre 2001 e 2010. Esses autores constataram que a maioria das pesquisas não leva em conta o papel mediador do professor no uso de simulações de computador pelos estudantes. O quadro apontado por esses autores, também foi verificado em nossa revisão: encontramos apenas um trabalho que procura investigar como o professor usa simulações de computador para ensinar ciências (KHAN, 2011).

#### **1.4. JUSTIFICATIVAS**

A participação dos múltiplos modos de comunicação nos processos de mediação pedagógica em sala de aula era o principal tema do grupo de pesquisa no qual eu me inseri em 2011. Naquela época, eu ainda estava na condição de participante do grupo de estudos ampliado que era constituído, tanto por alunos de pós-graduação da FaE/UFMG, quanto por professores interessados em entrar para o programa. Ao participar do grupo, acabei por me convencer da importância de dispensarmos maior atenção ao papel desempenhado por diferentes modos semióticos, para além da linguagem verbal, na construção discursiva do conhecimento científico escolar em sala de aula. Essa perspectiva orientou a concepção do projeto de pesquisa que me levou à condição de aluno do programa e foi a partir dela que eu decidi investigar o uso de simulações e laboratórios virtuais no Ensino de Ciências.

Assumindo que o ensino e a aprendizagem de ciências pressupõem interações multimodais entre os sujeitos, eu presumi que o uso de simulações e laboratórios virtuais em sala de aula provavelmente envolveria a orquestração de modos de comunicação verbais, visuais, gestuais e acionais. Como veremos nos capítulos 4 e 5, nossa pesquisa produziu evidências que corroboram a importância dos múltiplos modos de comunicação como mediadores do ensino e da aprendizagem da Física Escolar em uma sala de aula em que simulações e laboratórios virtuais constituem recursos mediacionais importantes.

Como apontado na revisão de literatura apresentada na seção anterior, o papel mediador do professor no uso de simulações e laboratórios virtuais tem sido ignorado pela maior parte dos pesquisadores. Dessa forma, nossa pesquisa pretende contribuir para preencher essa lacuna.

Além disso, o fato de investigarmos um professor experiente, familiarizado com esses recursos e que atua em uma instituição em que as condições de trabalho são favoráveis, permite inserir nossa investigação entre aquelas destinadas a caracterizar práticas escolares exemplares. Muitas pesquisas na área da educação foram desenvolvidas no sentido de apontar aspectos problemáticos da escola, em geral, e do ensino de ciências, em particular. Trabalhos que se dedicam à caracterização e avaliação de boas práticas são menos frequentes.

Acreditamos que nossos achados fornecem subsídios para a formação de professores. Afinal, um olhar mais cuidadoso para as simulações e para os laboratórios virtuais, apontando suas potencialidades e limitações, pode contribuir para um planejamento mais adequado das atividades de ensino. O mesmo pode se dizer em relação à explicitação dos processos de comunicação multimodal usados pelo professor para mediar a interação de estudantes com simulações e laboratórios virtuais. Nesse último caso, nossas contribuições decorrem de uma visão ampliada da comunicação em sala de aula com foco nos processos de compartilhamento de significados.

## **2. REFERENCIAIS TEÓRICO-METODOLÓGICOS**

Neste capítulo apresento os referenciais teórico-metodológicos que fundamentam a minha pesquisa. O capítulo está dividido em quatro seções. A primeira delas é dedicada a algumas considerações sobre a abordagem sociocultural e a Teoria da Ação Mediada. Na segunda seção, apresento algumas ideias da Semiótica Social a respeito da comunicação multimodal no ensino de ciências. A terceira é dedicada à apresentação do conceito de inscrição didática. Por último, apresento os principais conceitos da teoria de Kendon, sobre as funções dos gestos em interações sociais, que serviram de inspiração para a criação do padrão de transcrição multimodal usado na microanálise dos nossos dados.

### **2.1. A ABORDAGEM SOCIOCULTURAL E A TEORIA DA AÇÃO MEDIADA**

O conceito de ação mediada que nós utilizamos foi tomado dos trabalhos de James Wertsch (1988, 1999), um autor conhecido por constituir o grupo de pesquisadores que realiza leituras contemporâneas do trabalho de Lev Semenovitch Vygotsky (1897 a 1934). Wertsch (1988) sugeriu que a abordagem teórica de Vygotsky pode ser entendida em termos de três teses principais: i) a afirmação do método genético ou evolutivo como o caminho para compreender a atividade humana; ii) a vinculação da origem dos processos psicológicos superiores em processos sociais nos quais cada sujeito se desenvolve ao se apropriar da cultura de seu grupo social; iii) a centralidade dos instrumentos e signos que medeiam a atividade especificamente humana e que nos permitem compreender essa atividade.

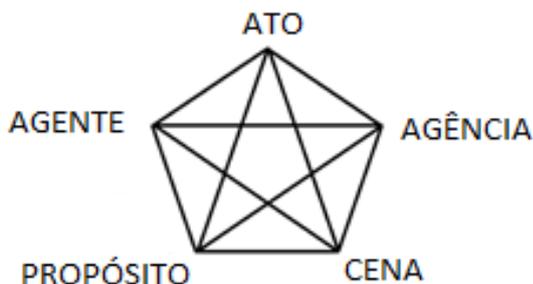
Sem desprezar a importância dos dois primeiros temas, Wertsch concentrou seus estudos nos processos de mediação, a partir dos quais construiu sua unidade de análise - a ação mediada - para compreender como o funcionamento psíquico de um sujeito se relaciona com o contexto cultural, institucional e histórico no qual ele se encontra em atividade. A esse respeito, Wertsch afirma que:

a tarefa de um enfoque sociocultural consiste em explicar e expor as relações entre a *ação* humana, por um lado, e os contextos culturais, institucionais e históricos nos quais essa ação ocorre, por outro. (...) A noção específica de ação a que me refiro é a *ação mediada* (WERTSCH, 1999, p.48, tradução nossa).

A ação humana é mediada pelo que Wertsch chama de *mediacional means*, um termo que temos traduzido com a expressão recursos mediacionais. Cada momento histórico, cada sociedade e cada cultura disponibilizam um conjunto de recursos mediacionais que possibilitam a ação.

Wertsch (1999), baseando-se em Kenneth Burke, aponta cinco elementos que possibilitam a investigação e a interpretação da ação humana: i) Ato: o que aconteceu no pensamento e/ou nos fatos, ou em outras palavras, quais são os produtos de uma dada ação; ii) Cena: em termos mais imediatos, qual a situação na qual o ato ocorreu e, em termos mais gerais, qual o contexto sócio histórico que conforma essa situação; iii) Agente: quem realizou o ato; iv) Propósito: qual a intenção do agente na origem do ato ou qual a intenção que se estabiliza durante a ação; v) Agência: quais instrumentos foram utilizados, ou em outras palavras, quais são os recursos mediacionais a partir dos quais o ato pôde ser realizado. Esses cinco elementos estão esquematizados na figura 1.

**FIGURA 1: Representação esquemática do Pentagrama de Burke**



Adaptado de: <<http://www.infoamerica.org/teoria/burke1.htm>, >. Acesso em: 15 mar. 2014

Ao construir a noção de ação mediada, Wertsch (1999) privilegia a relação entre os agentes e as ferramentas culturais, isto é, entre os agentes e a agência, de acordo com a designação de Burke. Há pelo menos duas justificativas para esse destaque. Em primeiro lugar, Wertsch (idem) acredita que esse destaque ajuda a superar as limitações produzidas pelo individualismo metodológico baseado em uma perspectiva antropocêntrica, que privilegia o agente quando busca compreender as forças que moldam a ação humana. Em segundo lugar, o autor considera que essa relação nos remete, naturalmente, aos outros elementos mencionados no pentagrama de Burke.

### **2.1.1. PROPRIEDADES DA AÇÃO MEDIADA**

A ação mediada, para Wertsch (idem), pode ser caracterizada a partir de um conjunto de dez propriedades:

1. há uma tensão irreduzível entre o agente e os recursos mediacionais;
2. os recursos mediacionais têm materialidade;
3. a ação mediada pode ter múltiplos objetivos simultâneos;
4. a ação mediada se situa em um ou mais caminhos evolutivos;
5. os recursos mediacionais possibilitam e, ao mesmo tempo, restringem a ação;
6. novos recursos mediacionais transformam a ação mediada;
7. a relação entre agentes e os recursos mediacionais pode ser caracterizada em termos de domínio;
8. a relação entre agentes e os recursos mediacionais pode ser caracterizada em termos de apropriação;
9. os recursos mediacionais podem ser produzidos por razões alheias à facilitação da ação mediada;
10. os recursos mediacionais interferem nas relações de poder e autoridade.

A primeira propriedade - tensão irreduzível entre agente e recursos mediacionais – é a mais importante delas, uma vez que todas as outras estão a ela associadas. Um dos exemplos usados por Wertsch (idem) para explicar a propriedade (1) consiste na análise da multiplicação de dois números com três casas decimais cada. Wertsch assinala que a ação de multiplicar esses números não poderia ser realizada sem o uso de um recurso mediacional. Ao realizarmos essa ação, mesmo sem utilizar uma calculadora ou lápis e papel, fazemos uso de um algoritmo e de um sistema de numeração, que, nesse caso, é o recurso mediacional que está sendo utilizado. Além disso, nossa proficiência na execução dessa ação é totalmente dependente das características do recurso mediacional específico que aprendemos a utilizar. Conseqüentemente, se somos impedidos de usar o sistema de numeração indo-arábico e tivermos de operar, por exemplo, com números romanos, a grande maioria de nós não conseguirá realizar a multiplicação.

Outra implicação importante dessa primeira propriedade diz respeito ao uso inconsciente de um recurso mediacional. Ao usarmos um dado recurso, não precisamos compreender sua história e seus fundamentos. Podemos ser, usando as palavras de

Wertsch (1999, p.57) “consumidores irreflexivos – senão ignorantes – de uma ferramenta cultural”.

Tal afirmação, segundo Paula e Talim (2012), nos permite concluir que o uso dos sistemas de signos, tanto na esfera social, quanto individual (ou mental), ocorre antes que os usuários desses sistemas tenham uma completa compreensão de seus significados ou aspectos funcionais.

Esta conclusão tem implicações importantes para o ensino de ciências mediado por simulações e laboratórios virtuais. Nesses ambientes virtuais há muitos aspectos funcionais de um sistema de signos cujo significado é, inicialmente, ignorado pelos estudantes. Por isso, torna-se importante conceber atividades (mediadas por roteiros ou mediadas pelo professor) que promovam uma compreensão progressiva dos conceitos, dos modelos e das teorias que compõem a lógica daquele ambiente virtual e da área da Física escolar explorada pelo ambiente.

A segunda propriedade da ação mediada – a materialidade dos recursos mediacionais – também tem importantes implicações para o ensino de ciências mediado por simulações e laboratórios virtuais. Segundo Wertsch (1999), a materialidade é uma propriedade de qualquer recurso mediacional e as propriedades materiais dos recursos mediacionais interferem na compreensão da forma como os processos internos passam a ter existência e passam a operar. Tais processos podem ser considerados habilidades no uso de recursos mediacionais específicos. O desenvolvimento dessas habilidades requer agir com as – e reagir às – propriedades materiais dos recursos mediacionais. Sem essa materialidade, não haveria nada para agir ou reagir e não poderiam surgir habilidades socioculturalmente situadas. Como exemplo dessa propriedade, Wertsch (idem) analisa a ação de andar de bicicleta. Desenvolvemos essa habilidade interagindo com o objeto material (a bicicleta) tempo suficiente para dominar os desafios que esse objeto em particular oferece. Uma vez adquirida a habilidade para a condução de uma dada bicicleta, já não estamos limitados a conduzir essa única bicicleta. Porém, o fato de desenvolver a habilidade de andar de bicicletas em geral, não parece fomentar habilidades para desempenhar outras formas de ação com outros objetos materiais. No caso do ensino de ciências mediado por simulações e laboratórios virtuais, podemos concluir que a interação com um dado recurso mediacional (como um aplicativo de computador que simula determinado fenômeno físico) permite aos estudantes

desenvolverem habilidades no uso daquele recurso específico. Mas tal habilidade não implica o desenvolvimento de habilidades para desempenhar ações mediadas por outros recursos mediacionais (como os artefatos usados em experimentos). Sendo assim, a mediação por meio dos ambientes virtuais não deve substituir e nem deve ser substituída por outras formas de mediação, como, por exemplo, a mediação por meio do laboratório real. Retornarei a esse ponto na discussão da quinta propriedade da ação mediada.

A terceira e a nona propriedades da ação mediada podem ser agrupadas e expressas da seguinte forma: os recursos mediacionais são, com frequência, produzidos por razões outras que não a facilitação da ação mediada e esta costuma ser dirigida a múltiplos objetivos potencialmente conflituosos. Na perspectiva de Wertsch (1999), a ação mediada tem múltiplos propósitos simultâneos porque os objetivos do agente não se ajustam com precisão aos objetivos associados aos diferentes recursos mediacionais, sobretudo porque cada recurso tem sua própria história cultural, sendo geralmente criado em outros contextos e para realizar outras atividades. Paula e Moreira (2014) usam essa propriedade para exemplificar uma prática muito comum nas avaliações escolares. Segundo eles, os testes e provas usados como recursos mediacionais na avaliação escolar, geralmente têm características herdadas de testes psicométricos ou são extraídos de exames vestibulares. Ao utilizarmos esses recursos para mediar a avaliação escolar, corremos o risco de reunir objetivos conflituosos, tendo em vista que testes psicométricos e exames vestibulares não foram criados com o objetivo de orientar os estudantes ou o professor quanto ao que fazer para promover avanços na aprendizagem, mas sim com o objetivo para classificar os estudantes.

Usando a mesma linha de raciocínio de Paula e Moreira (*idem*), podemos dizer algo parecido em relação aos aplicativos de simulação e laboratórios virtuais usados como mediação do ensino de ciências: as características desses recursos são herdadas dos construtores desses aplicativos. Quando nós os utilizamos, incorporamos, inconscientemente, parte dos objetivos para os quais eles foram originalmente desenvolvidos e desta forma podemos reunir objetivos conflituosos já que certos aplicativos podem ter sido criados para fins diferentes daqueles destinados a promover avanços na aprendizagem. Simulações e laboratórios virtuais podem ser concebidos para atuarem apenas como recurso auxiliares na comunicação de um conceito muito abstrato, por exemplo, em uma palestra para leigos, para tornar o objeto da apresentação

mais acessível ao público. Além disso, um aplicativo pode ser concebido para um tipo de público específico (para os pares, por exemplo, ou para estudantes universitários) e, nesse caso, os objetivos de ensino podem ser bem distintos daqueles que seriam concebidos para estudantes de ensino médio. É a mediação do professor no uso desses recursos que pode minimizar os efeitos dessa propriedade da ação mediada.

Do ponto de vista da quarta propriedade, a ação mediada se situa em um ou mais caminhos evolutivos. Isso significa dizer que a ação humana é historicamente situada. Segundo Wertsch (1999), “os agentes, as ferramentas culturais e a irreduzível tensão entre eles têm sempre um passado peculiar e estão sempre em um constante processo de transformação”. Nesse sentido, desenvolvimento é um termo que se aplica à ação mediada. Essa noção se contrapõe às abordagens que consideram que o que se desenvolve é a mente do indivíduo ou outros aspectos da ação considerados em isolamento.

Para ilustrar essa propriedade, considere o exemplo relativo ao uso simulações e laboratórios virtuais em uma sala de aula de física. Há algumas décadas, representações de fenômenos ondulatórios, por exemplo, eram visualizados nas aulas somente por meio das imagens nos livros didáticos e dos desenhos esboçados no quadro pelo professor. Com o advento de computadores nas salas de aula e o desenvolvimento de aplicativos específicos, essas mesmas representações podem ser visualizados a partir do uso de simulações, possibilitando aos estudantes interagir com imagens em movimento. Nessa situação descrita, o que evoluiu não foram os recursos ou os agentes isoladamente, mas a ação mediada. A nova dinâmica instaurada nas aulas com uso das simulações computacionais é consequência do processo de transformação dos agentes, dos recursos mediacionais e da tensão irreduzível entre eles.

De acordo com a quinta propriedade da ação mediada, os recursos mediacionais possibilitam e, ao mesmo tempo, restringem a ação. As restrições impostas por um recurso mediacional só podem ser reconhecidas, segundo Wertsch (1999), em retrospectiva, através de um processo de comparação a partir da perspectiva presente. Somente com o surgimento de novas formas de mediação, reconhecemos as limitações das anteriores, por exemplo, as limitações da internet discada só se tornaram evidentes para seus usuários a partir do surgimento da banda larga. Todavia, a razão para o uso um dado recurso mediacional não se relaciona tão claramente com níveis superiores de

rendimento oferecidos por aquele recurso. O emprego de um recurso mediacional particular pode depender de outros fatores, relacionados com os antecedentes históricos, com o poder e com a autoridade culturais ou institucionais.

Essa quinta propriedade da ação mediada tem implicações importantes para o ensino de ciências mediado por simulações e laboratórios virtuais. Ao compreendermos as diferenças entre esses recursos e as outras formas de mediação como efeitos das possibilidades e restrições inerentes a quaisquer recursos mediacionais, podemos utilizar de modo mais racional as características das simulações e dos laboratórios virtuais.

Ao compararem o laboratório virtual e o laboratório real, Paula e Talim (2012), apontam uma diferença fundamental entre eles. O primeiro permite construir uma representação de um fenômeno natural ou tecnológico que funde aquilo que observamos, ao trabalharmos no laboratório real, com aquilo que imaginamos a partir das ideias e teorias que as ciências criaram para compreender os fenômenos. Isso nos autoriza dizer que o experimento simulado no laboratório virtual promove uma aproximação entre o mundo vivido (aquele que julgamos vivenciar e observar) e o mundo concebido (as coisas que imaginamos para compreender o que vivenciamos e observamos). Contudo, os laboratórios virtuais não substituem os experimentos realizados com materiais concretos, do mesmo modo que esses últimos não substituem as simulações, tendo em vista que todo e qualquer recurso mediacional tanto possibilita quanto restringe a ação.

A sexta propriedade da ação mediada nos diz que novos recursos mediacionais transformam a ação mediada. Segundo Wertsch (1999), a dinâmica de mudança da ação mediada provocada pela introdução de novos recursos mediacionais é mais poderosa do que o aumento das habilidades dos agentes no uso dos recursos anteriormente disponíveis. Ainda segundo esse autor, uma forma de entender as diversas maneiras como a introdução de um novo recurso mediacional altera “todo o fluxo e a estrutura” da ação mediada consiste em considerar o que acontece nos diferentes “domínios genéticos”: na filogênese, na sociogênese, na ontogênese e na microgênese. Como exemplo, podemos pensar nas transformações que ocorrem na ontogênese quando as crianças se deparam com novos recursos mediacionais como os textos escritos ou os sistemas numéricos. Ou, ainda, como o aparecimento de novos recursos, como os computadores modernos, influenciou a sociogênese. Wertsch (idem) assinala que o

surgimento de novos recursos mediacionais cria uma espécie de desequilíbrio na organização sistêmica das ações mediadas que provoca mudanças em outros elementos – como os agentes da ação – e nas ações mediadas em geral, a ponto de, em muitos casos, surgir uma ação mediada completamente nova.

Essa propriedade aplicada ao ensino de ciências mediado por simulações e laboratórios virtuais nos leva a refletir sobre como o uso desses recursos leva ao desenvolvimento de novas habilidades particulares. Um exemplo, extraído da sequência de ensino acompanhada em nossa pesquisa, ilustra essa propriedade da ação mediada. O uso de aplicativos de simulação de fenômenos ondulatórios pelo professor ao longo da sequência de ensino produz nítidas transformações na dinâmica da aula. O professor não precisa mais desenhar no quadro as diferentes formas de representar uma onda e nem precisa se desdobrar para conferir a imagens estáticas o status de imagens em movimento. Dessa forma, o tempo anteriormente empregado nessas tarefas pode ser utilizado, por exemplo, para a produção de uma maior diversidade de ondas (ondas em corda, ondas na água, ondas sonoras) ou para uma maior interação com os estudantes. Portanto, a introdução desses novos recursos mediacionais – os aplicativos para simulação de fenômenos ondulatórios – modifica a natureza e o curso das ações mediadas (as aulas podem se tornar mais dialógicas e mais dinâmicas) e promove o desenvolvimento de novas habilidades específicas entre os estudantes (maior protagonismo dos alunos seja através da formulação de questões ou da sugestão de intervenções nas simulações para confirmar hipóteses e/ou verificar respostas para os questionamentos apresentados por eles).

De acordo com a sétima e oitava propriedades da ação mediada, a relação entre agentes e os recursos mediacionais pode ser caracterizada em termos de domínio e apropriação. Wertsch (1999) distingue claramente domínio e apropriação, como dois processos relacionados ao conceito vygotskyano de internalização, mas que podem ser definidos de modo mais rigoroso e consistente. Segundo ele, domínio está relacionado a “saber como” usar habilmente o recurso mediacional, já a ideia de apropriação, inspirada em Bakhtin, está relacionada ao processo de tomar algo do outro e torná-lo próprio. Nesse sentido, é possível que o agente domine, mas não se aproprie de um recurso mediacional, como é possível também que domínio e apropriação estejam correlacionados em alto ou baixo grau. Os critérios de diferenciação estão definidos

pelo comprometimento, resistência, autonomia do agente em executar ações com propósitos específicos. Como o domínio de um recurso mediacional se refere à competência na realização de uma ação que é mediada por esse recurso, ele está relacionado ao uso repetido, em diferentes contextos, de ações mediadas por recursos mediacionais específicos. A noção de apropriação lida com aspectos das relações sociais, das formas de interação, das intenções, dos critérios de valoração, que parecem condicionantes do processo de elaboração de significados.

Essas duas propriedades da ação mediada têm algumas implicações para o ensino de ciências mediado por simulações e laboratórios virtuais. O domínio e a apropriação, por parte dos estudantes, desses recursos dependerá tanto da quantidade de contextos em que eles usarão esses recursos, quanto da forma como o professor mediará a interação entre os estudantes e os recursos. A esse respeito, Paula e Moreira (2014) afirmam que “os estudantes deveriam ser conduzidos a agir, a exercer seu protagonismo na atividade escolar, ao invés de serem relegados a um papel passivo e “reprodutivo””.

Finalmente, a décima propriedade da ação mediada - os recursos mediacionais interferem nas relações de poder e autoridade – indica que as relações de poder e autoridade são também determinadas pelos recursos que medeiam as ações. Wertsch (1999) afirma que centrar a atenção apenas nas funções cognitivas e comunicativas dos recursos mediacionais, sem fazer referência à influência que eles podem ter nas relações de poder e autoridade, implica tratar tais recursos como se fossem instrumentos neutros. Afirma também que é equivocada a atribuição de poder e autoridade apenas aos agentes individuais. Ele retoma a tensão irreduzível entre agente e recursos mediacionais para afirmar que o poder está nas ações que os agentes podem realizar, ações que dependem do domínio e/ou da apropriação de um dado conjunto de recursos. Nas interações entre professores e estudantes mediadas por simulações e laboratórios virtuais, essa propriedade da ação mediada se manifesta, por exemplo, nas situações em que a simulação de um fenômeno é usada como argumento para persuadir os estudantes. Quando o professor é questionado por um estudante acerca de determinado fenômeno e, a despeito de entender a explicação ou concordar com ela, o estudante se dá por convencido simplesmente pelo fato do fenômeno ter sido simulado pelo aplicativo de computador, a fonte de autoridade, nesse contexto, é o recurso que mediou a ação do

professor. O poder e a autoridade não estão no agente, no caso o professor, mas nas ações que ele realizou com o recurso mediacional.

## 2.2. SEMIÓTICA SOCIAL E MULTIMODALIDADE

O referencial teórico-metodológico que utilizo para analisar os aspectos da comunicação na sala de aula provém da Teoria Multimodal da Semiótica Social. Essa teoria busca compreender como as pessoas se comunicam, em contextos sociais específicos, por uma variedade de modos e não apenas pela linguagem. A mudança de ênfase da linguagem para outros modos de comunicação remonta aos trabalhos seminais de Hodge e Kress, na obra *Social Semiotics* (1988), e de Kress e van Leeuwen, o livro *Reading Images: the Grammar of Visual Design* (1996).

De acordo com a Semiótica Social, em cada contexto histórico de interação, um enunciador, que quer produzir certos efeitos de sentido em uma audiência, escolhe os signos e os modos de comunicação mais adequados para realizar sua intenção (Hodge & Kress, 1988). Para Lemke (1990), a Semiótica Social é uma síntese teórica que fornece uma nova maneira de olhar para as formas de construção de significado com base nas funções sociais da linguagem. Segundo esse autor, o termo Semiótica Social destina-se a distinguir uma nova abordagem diferente das abordagens mais tradicionais da Semiótica como, por exemplo, a Semiótica de Peirce (1958). Essa última, segundo Lemke (idem), faz parte do que se pode chamar de Semióticas Formais, cujo principal interesse é o estudo sistemático dos próprios sistemas de signos. A Semiótica Social busca explicar como construímos significados a partir de todos os recursos semióticos disponíveis. De acordo com essa teoria, a língua faz parte de um contexto sociocultural no qual a cultura é produto de um processo de construção social. Nessa medida, nenhuma modalidade de linguagem pode ser inteiramente estudada de maneira isolada. A língua – falada ou escrita – não pode ser entendida senão ligada a outros modos de comunicação que participam da composição de um texto.

A multimodalidade entendida a partir do viés da Semiótica Social pode ser definida como uma abordagem interdisciplinar que entende a comunicação como envolvendo mais que a língua. Segundo Jewitt (2006, 2009), há três pressupostos teóricos inter-relacionados subjacentes à multimodalidade. Primeiro, a multimodalidade considera

que, pelo menos a princípio, todos os modos podem contribuir igualmente para o compartilhamento de significados durante uma interação social e, por isso, analisa e descreve a fala, os gestos, a escrita, os recursos visuais, entre outros. Em segundo lugar, ela pressupõe que os modos são socialmente modelados através do tempo para se tornarem geradores de sentido. Eles desempenham funções comunicativas de diferentes maneiras, o que torna a escolha dos modos a serem utilizados nas interações um aspecto central para produção de significado. Finalmente, a multimodalidade pressupõe pessoas orquestrando modos para produzir sentidos, enfatizando a importância da coordenação de diferentes modos.

A Teoria Multimodal da Semiótica Social está fundamentada na Gramática Sistêmico-Funcional do linguista Michael Halliday (1976). A grande preocupação da Gramática Sistêmico-Funcional é compreender e descrever a linguagem em funcionamento, como um sistema de comunicação humana e não como um conjunto de regras gerais desvinculadas de seu contexto de uso. Para Halliday (1976, p.135) a natureza da linguagem “relaciona-se diretamente às demandas que lhes fazemos, às funções a que ela se presta”.

Segundo Halliday (1976,1978) a linguagem deve exercer três funções simultâneas: ideacional, interpessoal e textual. Como esse autor considerava essas categorias como gerais e presentes em toda comunicação, ele as denominou metafunções da linguagem.

A metafunção ideacional está relacionada ao conteúdo da comunicação e representa a ideia que o locutor deseja transmitir. De acordo com Halliday:

Ao desempenhar tal função, a linguagem também estrutura a experiência e ajuda a determinar nossa maneira de ver as coisas, de modo que exige algum esforço intelectual vê-las de outra maneira que não aquela que nossa linguagem nos sugere. (HALLIDAY,1976, p.136)

A metafunção interpessoal está relacionada ao posicionamento do locutor em relação à plateia e em relação ao próprio tema da comunicação. Segundo Halliday:

Através desta função, os grupos sociais são delimitados e o individual é identificado e reforçado, pois a linguagem, além de capacitá-lo a interagir com as outras pessoas, serve também para a manifestação e desenvolvimento de sua própria personalidade. (HALLIDAY,1976, p.137)

Por último, a metafunção textual, por meio da articulação das duas primeiras funções, é aquela que dá coerência à apresentação, caracterizando-a como um texto. “Ela capacita o ouvinte ou o leitor a distinguir um texto de um conjunto aleatório de orações” (HALLIDAY, 1976, p 137).

As escolhas associadas ao exercício das metafunções ideacional, interpessoal e textual da linguagem, em uma interação comunicativa específica, dão origem a significados ideacional, interpessoal e textual identificáveis naquela interação. Toda comunicação simultaneamente nos diz algo sobre "o mundo" (significado ideacional), nos posiciona em relação a alguém ou a alguma coisa (significado interpessoal) e produz um texto estruturado (significado textual).

Embora Halliday tenha se ocupado em aplicar as metafunções apenas à linguagem verbal, ele não deixou de apontar que elas poderiam ser aplicadas a outros modos semióticos da comunicação humana.

Lemke (1990), baseando-se no trabalho de Halliday, procurou compreender a sala de aula tendo a linguagem como o eixo central de seu estudo. Dessa forma, a aprendizagem é entendida como um processo amplo e complexo, que compreende múltiplas formas de significar e comunicar, que são situadas socialmente e culturalmente legitimadas. Para esse autor, todo processo de significação envolve simultaneamente três tipos de significados: um significado de apresentação (função ideacional), que nas interações em sala de aula pode ser entendido como relacionado ao conteúdo; um significado de orientação (função interpessoal), representando o posicionamento do locutor em relação ao tema e a seus interlocutores, que na sala de aula está associado às expectativas do professor em relação ao papel dos estudantes, bem como às escolhas do que representar e do que omitir, uma vez que são feitas a partir da forma como o professor concebe os estudantes com quem se comunica; e por último, um significado de organização (função textual), possibilitando a articulação dos dois primeiros na formação de um texto coerente. Este último pode ser interpretado, nas interações em sala de aula, como os aspectos que estão envolvidos na construção da narrativa da aula, que deve apresentar, tanto coerência interna, quanto coerência contextual.

No livro *Reading Images*, Kress e van Leeuwen (1996) reelaboram as metafunções propostas por Halliday e as aplicam na interpretação de imagens. Baseando-se em uma

enorme gama de exemplos como desenhos de crianças, ilustrações de livros didáticos, foto jornalismo, obras de arte, cartazes publicitários, além de formas tridimensionais, como esculturas e brinquedos, os autores examinam as maneiras pelas quais as imagens comunicam significado. Eles postulam que a linguagem visual é dotada de uma sintaxe específica na qual os elementos se organizam em estruturas visuais (cor, perspectiva, enquadramento e composição) para comunicar um todo coerente. Eles também argumentam que as imagens, em seu uso comunicativo, preenchem as mesmas funções ideacional, interpessoal e textual atribuídas à linguagem verbal. Essas funções, aplicadas aos modos visuais, são denominadas, respectivamente, função representacional, função interativa e função composicional. Esses autores também propuseram a expansão do conceito de metafunções a todos os outros modos de comunicação.

### **2.2.1. MODOS DE COMUNICAÇÃO<sup>1</sup>**

De acordo a Teoria Multimodal da Semiótica Social, o termo *modo* se refere a um conjunto de recursos semióticos social e culturalmente moldados para o compartilhamento de significados e a construção de sentidos (KRESS et al., 2001, Jewitt, 2006, KRESS, 2009). Em outras palavras, todos os recursos empregados pelos indivíduos nos processos de comunicação fazem parte de modos de comunicação e representação, também chamados de modos semióticos. Exemplos de modos incluem a escrita e a imagem nos textos impressos, a imagem em movimento na tela do computador, a fala, os gestos, os olhares, o comportamento proxêmico e as mudanças de postura corporal.

Van Leeuwen define o termo *recurso semiótico* da seguinte maneira:

... recursos semióticos são as ações e os artefatos que usamos para nos comunicar, sejam elas produzidas fisiologicamente - com o nosso aparelho vocal; com os músculos que usamos para criar expressões faciais e gestos, etc. - ou por meio de tecnologias - com a pena, tinta e papel; com hardware e software; com tecidos, tesouras e máquinas de costura, etc. (van LEEUWEN, 2005, p.3, tradução nossa).

De acordo com os trabalhos de Kress (KRESS et al., 2001; KRESS, 2009), um modo de comunicação é constituído quando um sistema de signos torna-se capaz de realizar as

---

<sup>1</sup> Para os iniciantes sugiro uma consulta ao “Glossary of Multimodal terms” que traz significados compartilhados na comunidade de pesquisa liderada por Gunther Kress e outros de seus colaboradores (disponível em <http://multimodalityglossary.wordpress.com/mode-2/>, último acesso em maio de 2016).

metafunções ideacional, interpessoal e textual descritas por Halliday (1976,1978). Kress et al. (2001) acrescentam cinco conceitos-chave para entendermos o uso dos modos em situações de comunicação: meio; materialidade; especialização funcional; orquestração multimodal e intenção retórica.

O meio se refere à substância material que é moldada pela cultura, ao longo do tempo, em formas de representação socialmente organizadas e regulares, isto é, em recursos de construção de sentido ou modos (KRESS et al., 2001, p.15). Todos os modos, tanto em função de sua materialidade, quanto do trabalho que as diferentes culturas realizam com aquele material – com o som se tornando fala, ou música; com movimentos de mãos se tornando gestos – oferecem potenciais específicos para gerar significado e trazem consigo limitações. Em outras palavras, cada modo é culturalmente moldado em torno das restrições e possibilidades do meio que o constitui.

As possibilidades (*affordances*) e restrições dos meios a partir dos quais são construídos os modos de comunicação justificam a criação do conceito de especialização funcional dos modos. De acordo com esse conceito, há algumas coisas que alguns modos comunicam melhor do que outros. Por exemplo, descrever a paisagem de um destino de viagem usando apenas o modo verbal pode ser bastante apropriado para um romancista, mas não para um agente de viagens que pretende convencer um turista a adquirir um pacote de férias. Uma fotografia seria muito mais apropriada nessa situação (ALVES, 2011).

Cada modo – tal como foi moldado e socialmente utilizado – possui certas particularidades. A lógica da sequência no tempo é característica da fala: um som é produzido depois do outro, uma palavra após a outra, um elemento sintático depois do outro. Para narrar acontecimentos, essa sequencialidade se torna uma *affordance* do modo verbal oral. Por outro lado, imagens estáticas são mais fortemente governadas pela lógica do espaço e da simultaneidade, uma vez que os elementos podem ser percebidos concomitantemente. Por essa razão, a representação de relações entre parte e todo em estruturas complexas é realizada adequadamente por esse modo de comunicação.

No contexto da sala de aula, as diferentes especializações apresentadas pelos modos de comunicação têm papel importante nos processos de negociação de sentidos e

construção de significados. Kress et al. (2001) consideram que um aspecto central da tarefa de promover o entendimento de conceitos e, assim, permitir a apropriação da cultura das ciências, por parte dos estudantes, consiste na seleção e integração dos modos semióticos pelo professor. Para esses autores, os significados construídos em sala de aula não dependem apenas das potencialidades e limitações dos diversos modos utilizados, mas da própria maneira como eles são orquestrados. Em outras palavras, a orquestração é em si mesma significativa. Segundo eles, os professores contribuem para o acesso dos estudantes aos conceitos e à cultura das ciências, a partir da orquestração multimodal de imagens, ações, manipulação de objetos, discurso e assim por diante. Quando mais de um modo é empregado em um mesmo processo de comunicação, cada modo contribui de forma particular para a produção de sentidos e, além disso, a própria integração dos diferentes modos também contribui para a significação, de forma a multiplicar os possíveis significados.

Ao orquestrar diferentes modos, um comunicador competente faz escolhas nas quais podemos identificar, tanto a especialização funcional atribuída a cada modo, quanto os interesses e as intenções desse sujeito em uma dada interação. Esses interesses e intenções podem ser identificados como interesses ou intenções retóricas.

De acordo com Kress et al. (idem), assumir que o professor age retoricamente quando ensina ciências em sala de aula, implica ver o professor como alguém que seleciona modos de comunicação e orquestra esses modos para apresentar um mundo coerente e plausível (pela lógica da ciência), a fim de moldar a visão de mundo dos estudantes.

Como exemplos de intenções retóricas empregadas na sala de aula de ciências, podemos citar aquelas que identificamos na análise dos nossos dados: comparação entre duas interpretações de um fenômeno; explicitação das razões pelas quais um fenômeno ocorre; apresentação e sistematização de conceitos; descrição e caracterização de objetos; verificação de hipóteses, exemplificação de princípios e leis, esclarecimento de dúvidas, entre outros.

### 2.3. INSCRIÇÕES DIDÁTICAS

Uma abordagem multimodal de situações do ensino de ciências mediadas por simulações e laboratórios virtuais parece ainda mais pertinente, quando consideramos o caráter multimidiático desses recursos mediadores. Para apresentar conceitos e modelos da Física Escolar aos estudantes, as simulações e os laboratórios virtuais costumam combinar sons, imagens em movimento, textos escritos em língua materna, equações, dentre outros. Imagens, equações e outros elementos gráficos, por sua vez, aparecem reunidos em inscrições didáticas.

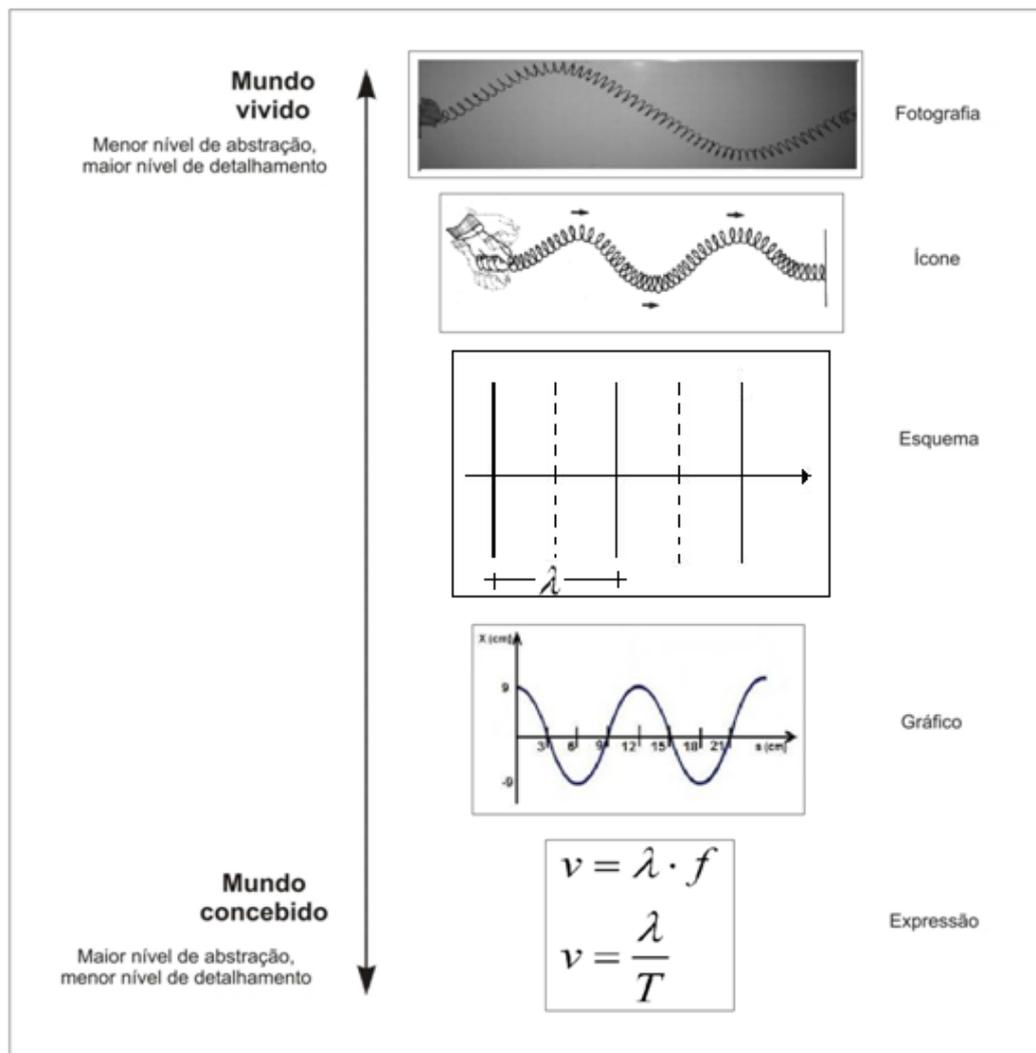
O conceito de inscrição didática pode ser encontrado no livro *Critical Graphicacy: understanding visual representations practices in school science* (2005), escrito por Roth, Ardenghi e Han. A maioria das ideias apresentadas nesta seção é orientada por esse trabalho.

De acordo com os autores, inscrições podem ser compreendidas como representações não-verbais, constituídas por um ou mais signos, usadas para comunicar informações, fenômenos abstratos, ou para organizar dados. O conceito de inscrição didática designa de modo genérico objetos tais como fotografias, tabelas, gráficos, diagramas, fluxogramas e equações.

Segundo Roth et al. (idem) as inscrições estendem-se ao longo de um *continuum* que separa os mundos vividos e os mundos idealizados ou concebidos pelas Ciências. Nesse *continuum*, as inscrições localizadas na extremidade esquerda são menos abstratas e mais carregadas de informações vinculadas com contextos específicos. Em outras palavras, essas inscrições se aproximam daquilo que os autores chamam de “mundo vivido”. No extremo direito do mesmo *continuum*, estão inscrições mais abstratas que têm pouca ou nenhuma informação vinculada a contextos específicos de vida. Tais inscrições constituem representações daquilo que os autores chamam de mundos concebidos pelas Ciências. Os autores afirmam que aprender Ciências equivale a aprender a transitar entre os mundos vividos e os mundos concebidos por meio de diferentes tipos de inscrições. Isso implica compreender as relações entre as inscrições que compõem o *continuum*. Tal compreensão emerge, necessariamente, de práticas sociais e culturais de uso das inscrições em situações relevantes.

A figura 2, inspirada no trabalho de Roth et al. (2005, p.86), situa diferentes tipos de inscrições dentro desse *continuum*.

**FIGURA 2:** *Continuum* no qual se distribuem os diferentes tipos de inscrições.



De cima para baixo, na figura 2, nós encontramos as seguintes inscrições: (a) fotografia de uma mola na qual se propaga uma onda transversal; (b) ícone que representa a mola que aparece nessa fotografia; (c) esquema com a representação de frentes de onda com a indicação do seu comprimento de onda; (d) gráfico mostrando a amplitude da onda, em um dado instante, em função da posição  $s$ , ao longo da sua direção de propagação; (e) expressões que relacionam a velocidade de propagação da onda com outras grandezas físicas que a caracterizam.

No esquema mostrado na figura 2, quanto mais em cima estiver situada uma determinada inscrição, maior é a quantidade de informações contextuais que podemos

obter a partir dela. Por isso, se a fotografia mostrada no topo da figura tivesse maior tamanho e melhor resolução, poderíamos identificar até o material que constitui a mola, uma vez que molas desse tipo podem ser feitas tanto com metal, quanto com plástico. Deslocando nossos olhos para baixo, encontramos uma inscrição com menos informações contextuais. Nela aparece um esquema que não se limita à representação de ondas em molas, mas pode representar qualquer tipo de onda periódica (mecânica ou eletromagnética, transversal ou longitudinal) se propagando em qualquer meio. Essa inscrição, na verdade, abstrai todas as características das ondas, exceto: o sentido de propagação, as cristas e os vales e a distância entre essas duas fases. Tanto o grau de abstração, quanto a perda de informações contextuais vai aumentando, progressivamente, quando olhamos para inscrições situadas mais abaixo no esquema. Assim, na parte inferior da figura temos inscrita uma equação que não faz referência contextual a nenhuma situação específica.

Ao interpretarmos a figura 2 percebemos que o aumento no grau de abstração de uma inscrição tem como consequência uma redução da quantidade de informações contextuais específicas que ligam a inscrição a um contexto particular. Em contrapartida, as inscrições situadas mais abaixo no esquema mostrado na figura 2 são também aquelas que podem se referir a uma maior quantidade de diferentes situações. Em outras palavras, o aumento do grau de abstração implica, simultaneamente, ganho de generalidade e de abrangência em termos das possibilidades de significação de uma determinada inscrição.

A escolha dos signos utilizados em uma inscrição é mediada por um conjunto de convenções que regulam a circulação e o uso desses diferentes tipos de inscrição em uma determinada comunidade e em um dado conjunto de práticas culturais. Na figura 2, a fotografia da mola, por exemplo, retrata um experimento muito usado em aulas de Física para introduzir conceitos de ondulatória. A interpretação dessa inscrição por estudantes ainda não iniciados no estudo da Física certamente será bem diferente daquela feita por estudantes com conhecimentos de ondulatória. Desse modo, para que um leitor possa interpretar uma inscrição, de modo similar aos membros da comunidade na qual a mesma foi originalmente concebida, é necessário que ele se aproprie de algum conhecimento compartilhado por esse grupo.

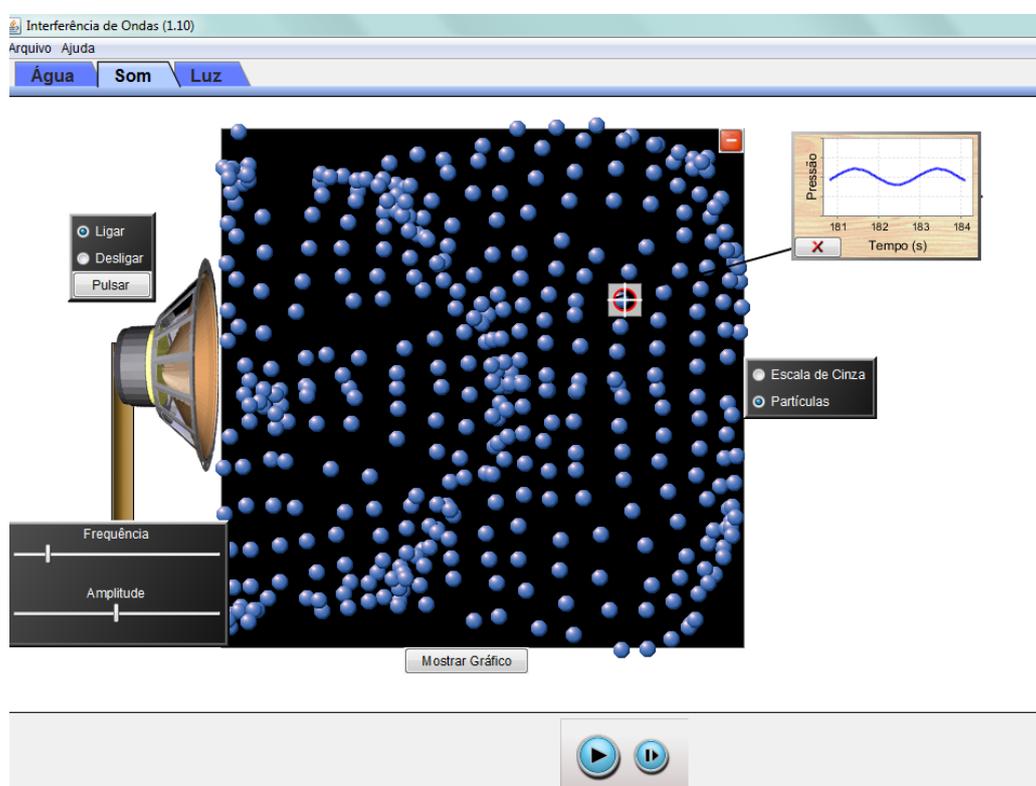
Segundo Roth et al. (2005), o caminho para permitir a compreensão e o uso eficaz de inscrições pelos estudantes passa por engajá-los em práticas culturais mediadas por inscrições. Ainda segundo esses autores, é necessário ajudar os aprendizes a transitar entre as diferentes formas de inscrição, tematicamente relacionadas, mas distintas no sistema de significação (ou sistema semiótico) utilizado em sua concepção.

### 2.3.1. INSCRIÇÕES DIDÁTICAS NAS SIMULAÇÕES E LABORATÓRIOS VIRTUAIS

Muitas representações contidas nas simulações e nos laboratórios virtuais usados no ensino de ciências são constituídas por imagens complexas, constituindo o que Roth et al. (2005) denominam inscrições em camadas. Além disso, essas representações são dinâmicas, uma vez que a inclusão de algumas camadas pode ser controlada pelo usuário do aplicativo e algumas inscrições são dotadas de animação.

Para ilustrarmos esse tipo de representação, reproduzimos na figura 3 a tela de um aplicativo de simulação de fenômenos ondulatórios usados na sequência de ensino que observamos em nossa pesquisa.

**FIGURA 3:** Captura de tela do aplicativo *Interferência de ondas* do Phet



Disponível em [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/legacy/wave-interference](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/wave-interference), acesso em maio de 2016

Nas representações complexas há uma sobreposição de várias inscrições didáticas com elementos que têm referentes tanto no mundo dos objetos e eventos, o mundo vivido, quanto no mundo das teorias e conceitos, o mundo concebido. Essas representações podem ser analisadas como camadas superpostas<sup>2</sup> umas às outras. Identificar as diferentes camadas presentes nesse tipo de representação complexa e relacionar essas camadas umas com as outras exige certo trabalho de interpretação que não deve ser desprezado.

Cada uma das camadas ou inscrições que compõem a figura 3 utiliza diferentes tipos de signos. No lado esquerdo da figura vemos uma inscrição didática composta pelo ícone de um alto falante. Essa inscrição aproxima o estudante do mundo vivido.

Ao lado dessa primeira camada ou inscrição didática, na parte central da figura, vemos bolinhas que oscilam para frente e para trás quando o alto falante é acionado. Essa inscrição tem como referentes entidades do mundo concebido. As bolinhas representam as moléculas de ar e o movimento de oscilação representa a onda sonora emitida pelo alto falante.

A terceira e última inscrição didática, no lado direito da figura, é a mais abstrata de todas. Nela vemos um gráfico senoidal que mostra a variação da pressão em função do tempo. O gráfico está ligado a uma espécie de alvo localizado na região onde estão as bolinhas. O alvo indica a região do ar que, ao ser atingido pelas frentes de ondas emitidas pelo alto falante, sofre as variações de pressão indicadas no gráfico. Essa inscrição não apresenta nenhuma informação contextual específica, seus referentes são conceitos e relações que remetem ao mundo concebido.

O exemplo acima nos permite imaginar uma parte do trabalho de interpretação demandado pelas representações complexas presentes nos aplicativos de simulação usados no ensino de ciências. Roth et al.(2005) elaboraram um modelo semântico que possibilita dimensionar todo o trabalho necessário à interpretação de inscrições em camadas. Um exemplo de aplicação desse modelo pode ser encontrado em Alves e Paula (2011, pp. 37-40).

---

<sup>2</sup> O termo camada é utilizado nos softwares de tratamento de imagens. Assim, uma fotografia original de uma pessoa em pé no interior de sua casa pode ser decomposta em duas camadas: uma delas contendo a imagem de seu próprio corpo e a outra com todo o restante do cenário que aparece ao fundo. Os softwares de tratamento de imagens permitem não só separar essas duas camadas, mas criar novas imagens a partir delas.

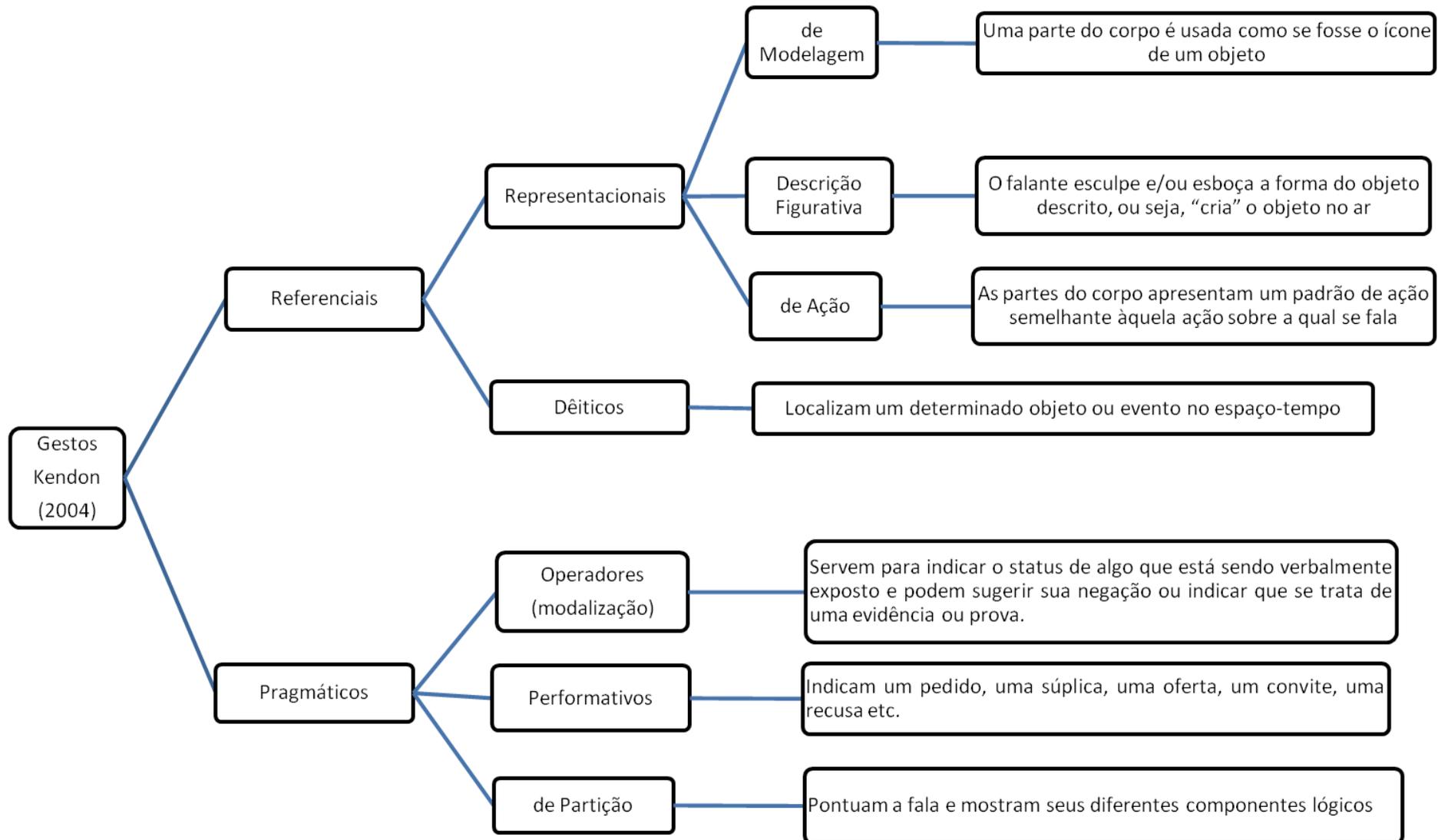
## 2.4. UM REFERENCIAL PARA O ESTUDO DOS GESTOS

Na microanálise levada a cabo no capítulo 5 desta tese, utilizamos um padrão de transcrição multimodal para registrar os diferentes modos de comunicação utilizados pelo professor nas situações mediadas por simulações e laboratórios virtuais. A análise dos modos gestuais e a tipologia gestual adotada em nosso trabalho foram baseadas em Kendon (1997, 2004).

De acordo com o novo dicionário Aurélio da Língua Portuguesa (FERREIRA, 2004), a palavra *gesto* refere-se ao “movimento do corpo, principalmente das mãos, braços, cabeça e olhos, para exprimir ideias ou sentimentos, na declamação e conversação”. Gesto é uma forma de expressão utilizada na comunicação humana para uma série de propósitos expressivos diferentes. Segundo Kendon (*idem*) a maneira como os gestos são criados e utilizados depende das circunstâncias de uso, do propósito comunicativo específico e de quais outros modos de comunicação estão disponíveis. Esse autor afirma que usamos os gestos, por exemplo, para fazer referências dêiticas, para representar objetos ou ações e para pontuar, marcar ou mostrar aspectos da estrutura da fala.

Apesar de Kendon (2004) defender que não é possível estabelecer um sistema universal de classificação de gestos, que seja igualmente útil para todas as investigações, ele nos fornece um sistema para compreender as funções dos gestos. Esse sistema, elaborado a partir de extensa e detalhada exemplificação das funções atribuídas aos gestos em interações sociais por décadas de pesquisa empírica, não deve ser considerado como um sistema para classificar diretamente os próprios gestos. Segundo o autor, devemos considerar as categorias que ele propõe como relacionadas com as funções que os gestos desempenham nas situações de comunicação.

A principal distinção feita por Kendon (*idem*) entre as funções dos gestos nas interações humanas separa os gestos em referenciais e pragmáticos. Gestos referenciais fazem parte do conteúdo referencial do enunciado, isto é, eles representam ou localizam no espaço os objetos e as ações sobre os quais se fala. Os gestos pragmáticos são aqueles cujo significado está além do significado expresso verbalmente. Kendon (*idem*) subdivide os gestos referenciais em gestos dêiticos e representacionais. Esses últimos podem ser gestos de modelagem, de descrição figurativa e de ação. Os gestos pragmáticos, por sua vez, são subdivididos em modais, performativos e de partição. Cada uma dessas funções gestuais é descrita no diagrama apresentado na figura 4.



**FIGURA 4: Diagrama elaborado pelo nosso grupo de pesquisas com as funções gestuais propostas por Kendon (2004)**

Kendon (2004) também concebeu um padrão para transcrever interações mediadas por gestos e falas. Esse autor distingue quatro fases relacionadas aos movimentos realizados pelo corpo na execução de um gesto: preparação, golpe, sustentação e restauração. O golpe é a fase em que podemos identificar as funções que o gesto desempenha em uma determinada interação social. A fase do movimento que leva o corpo da posição de repouso até ao golpe é chamada de preparação. O golpe pode, por vezes, ser sustentado por certo tempo. Essa fase é denominada sustentação. A última fase de um gesto é a restauração da posição de conforto. Nessa fase, a parte do corpo usado no gesto volta à posição anterior.

Para exemplificarmos essas fases descritas por Kendon, imaginemos uma situação em que um professor de ciências, ao explicar para crianças a distinção entre o tronco e os galhos de uma árvore, realize o seguinte gesto: ergue o antebraço direito, para representar a árvore, e, com a palma da mão voltada para cima, ergue também os dedos, representando os galhos. Enquanto enuncia a explicação para as crianças, o professor mantém o antebraço na posição descrita. Ao término da explicação, ele volta o antebraço para a posição normal e inicia uma nova interação com as crianças.

Na situação descrita acima, a fase denominada golpe ocorre no momento em que o professor ergue o antebraço e os dedos da mão direita. O movimento do braço ao sair da posição de conforto até chegar à posição onde ocorre o golpe corresponde à fase da preparação. A sustentação coincide com o tempo em que o professor mantém o antebraço e os dedos erguidos e conduz a explicação. Finalmente, a fase denominada restauração corresponde ao movimento realizado para extinguir o gesto e retornar o braço para a posição normal.

Kendon (idem) chama de *unidade gestual* toda a série de movimentos que corresponde às quatro fases do gesto acima mencionadas. Como um golpe gestual pode ser realizado na sequência de outro sem o retorno do corpo à posição de conforto, Kendon (idem) criou o conceito de *frase gestual*. Uma frase gestual é constituída apenas da preparação e do golpe gestual e, por isso, uma unidade gestual pode conter várias frases gestuais.

### **3. MÉTODO E CONTEXTO DA PESQUISA**

#### **3.1. CONTEXTO DE ESTUDO E PARTICIPANTES**

Os dados desta pesquisa foram gerados a partir de gravações, em áudio e vídeo, de aulas ocorridas em uma escola pública que oferece cinco cursos técnicos integrados de nível médio. A escola em questão, localizada em Belo Horizonte, é vinculada a uma instituição federal de ensino superior.

As aulas ocorreram na sala de aula de um professor de Física experiente, familiarizado com simulações e laboratórios virtuais, que atua em um ambiente adequado ao ensino e à aprendizagem dessa disciplina, tanto em termos de recursos educacionais disponíveis, quanto da participação discente nas aulas. Esse professor foi adjetivado como experiente por duas razões. Em primeiro lugar, por ter 21 anos de magistério exercidos na escola onde a pesquisa foi realizada. Em segundo lugar, por utilizar simulações e laboratórios virtuais nas suas aulas, como um dos principais recursos educacionais, no mínimo, desde 2008. Além de usuário desses tipos de recursos há vários anos, esse professor está inserido em um ambiente de trabalho no qual o planejamento pedagógico e a avaliação das mediações usadas no ensino e na aprendizagem são realizados, semanalmente, junto aos colegas que, com ele, atuam no ensino introdutório de Física.

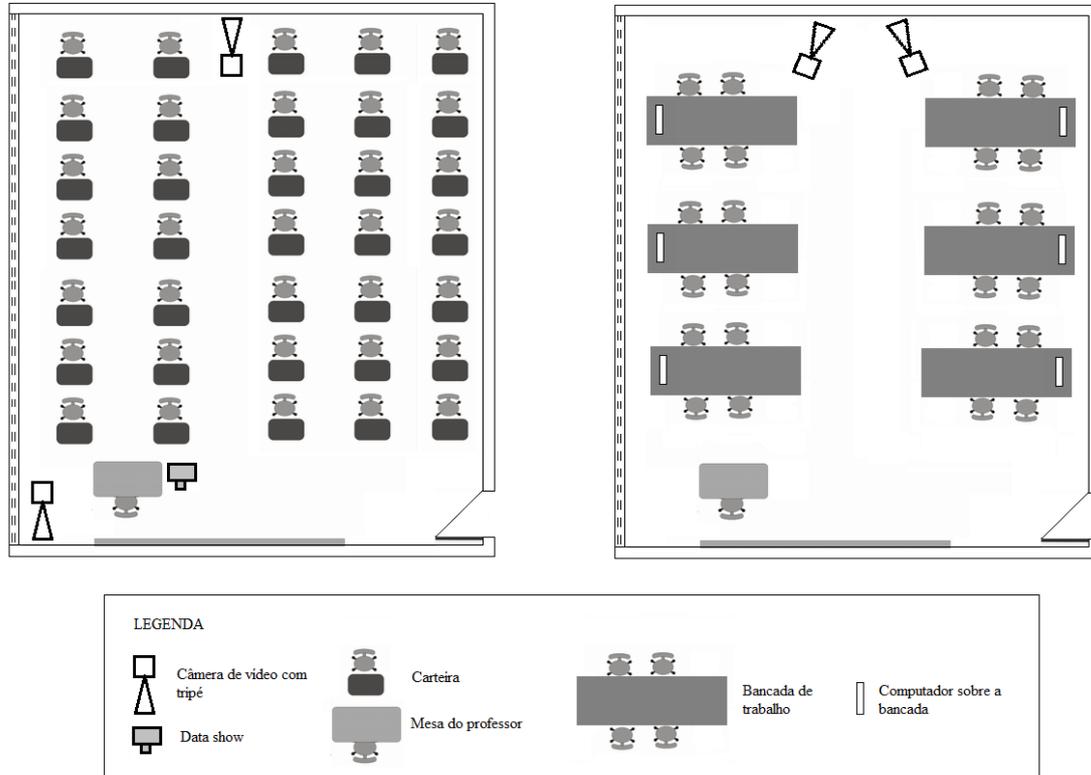
A turma que acompanhamos era constituída por 35 estudantes com idades entre 15 e 17 anos, de ambos os sexos, que estudavam no período diurno e cursavam o 1º ano do ensino médio técnico integrado.

A observação das aulas ocorreu durante as últimas 8 semanas do último trimestre letivo de 2013. Nesse período, definido em acordo com o professor, acompanhamos uma sequência de ensino sobre ondulatória que foi desenvolvida nas 6 últimas semanas do ano letivo. Decidimos acompanhar a turma 2 semanas antes do início da sequência de ensino para tentar minimizar os efeitos que a presença do pesquisador com os equipamentos de coleta de dados poderia produzir nas aulas. Nossa expectativa era a de que os estudantes, nessas 2 semanas, se acostumassem com a presença do pesquisador.

Atividades práticas, comuns na turma, eram realizadas em aulas geminadas que ocorriam nos dois primeiros horários das quintas-feiras. A apresentação de novos conceitos, correção e discussão de exercícios ocorriam nas segundas e terças-feiras, em

aulas de 100 e 50 minutos, respectivamente. Em cada um desses dias, as aulas eram realizadas em espaços físicos diferentes ilustrados na figura 5.

**FIGURA 5: Croquis das salas de aula onde a pesquisa foi realizada.**



Às segundas-feiras, as aulas duravam 100 minutos e ocorriam logo após o intervalo do turno. Às terças-feiras, as aulas eram de 50 minutos e ocorriam no último horário. Nesses dias, as aulas aconteciam em uma sala comum (veja a imagem à esquerda da figura 5). Um grande quadro branco ocupava parte da parede para a qual estavam voltadas as carteiras e, próximo do quadro, sobre a mesa, o professor colocava um *notebook* e, em uma pequena mesa (ou em uma das carteiras da frente), um *Datashow*. A mesa do professor também servia de apoio para as montagens de experimentos realizados frequentemente. Nesse ambiente, coloquei a câmera de vídeo fixa ao tripé na parte da frente da sala. Essa câmera focalizava quase todos os estudantes. A outra câmera foi manipulada por mim no fundo da sala. Com essa câmera, focalizei as ações e gestos do professor. Embora as carteiras da sala estivessem organizadas em fileiras, frequentemente, os alunos se reuniam em duplas, ou trios, para a realização das atividades propostas.

A imagem à direita da figura 5 retrata o Laboratório de Física, local onde aconteciam as aulas da quinta-feira. Esse ambiente dispunha de espaço e equipamentos necessários para a execução das atividades práticas. Sobre cada bancada de trabalho havia um computador que era usado como recurso auxiliar em alguns experimentos ou era utilizado nas atividades de laboratório virtual. Nas aulas de quinta-feira, a turma era dividida em duas subturmas. Uma delas ficava sob a responsabilidade de outro professor (não acompanhado em nossa pesquisa). Os estudantes se dividiam em grupos de três a quatro integrantes para ocupar as bancadas de trabalho e realizar as atividades propostas no laboratório. Nesse ambiente, as duas câmeras de vídeo fixas ao tripé eram colocadas no fundo da sala, cada uma delas voltada para uma bancada de trabalho. Na quinta-feira da semana seguinte à realização da atividade prática, os estudantes se reuniam em outra sala, com configuração semelhante àquela mostrada à direita da figura 5, para redigirem o relatório da atividade. Nesse ambiente, as duas câmeras de vídeo eram posicionadas de modo a registrarem os mesmos dois grupos cuja atividade havia sido registrada na prática realizada na semana anterior.

### **3.2. INSTRUMENTOS E ESTRATÉGIAS PARA O REGISTRO DOS DADOS**

Na gravação das aulas observamos a metodologia proposta por Kress et al. (2001) e, por isso, utilizamos duas câmaras de vídeo: uma delas posicionada no fundo da sala, voltada para o professor e a outra posicionada na frente da sala, voltada para os estudantes. O equipamento de gravação de áudio, utilizado de forma complementar às filmagens, ficou em posse do professor nas primeiras aulas. Entretanto, como a câmera de vídeo capturou adequadamente as falas do professor, abandonamos o uso do gravador nas aulas seguintes. Para o registro de atividades feitas em grupo no computador, a câmara foi posicionada de forma a captar, tanto a tela do computador, quanto os gestos dos estudantes e suas ações, enquanto eles realizavam a atividade. Nesse caso, o equipamento de gravação de áudio foi colocado sobre a mesa para reduzir o efeito do ruído de fundo e garantir o registro das interações discursivas dos membros do grupo.

Anotações em caderno de campo foram realizadas para: (i) capturar certas interações entre os estudantes e o professor que não tínhamos certeza de termos capturado com a gravação em áudio e vídeo; (ii) registrar e comentar eventos potencialmente importantes para a análise posterior dos dados.

Também faz parte do corpus da nossa pesquisa todo material impresso usado pelo professor e distribuído aos estudantes durante o desenvolvimento da sequência de ensino, tais como textos, listas de exercícios, roteiros de atividades e provas.

### 3.3. APRESENTAÇÃO DAS UNIDADES DE ANÁLISE

Concebemos quatro unidades de análise que estão expostas no quadro 1 a seguir. Duas delas estão situadas no nível da microanálise.

**QUADRO 1: Unidades e níveis de análise utilizadas na pesquisa**

NÍVEIS	UNIDADES DE ANÁLISE
Macro	1. Toda a sequência de ensino sobre ondulatória que foi mediada por simulações e laboratórios virtuais.
Meso	2. Aula como conjunto de ações complexas mediadas por diversos recursos mediacionais (simulações e laboratórios virtuais, inclusive).
Micro	3. Segmentos das aulas em que ações do professor e dos estudantes foram mediadas por simulações e laboratórios virtuais. 4. Inscrições didáticas em camadas que constituem as simulações e os laboratórios virtuais.

Quando trabalhamos com recortes muito específicos da sala de aula, corremos o risco de produzir interpretações equivocadas do ambiente no qual a pesquisa foi realizada. Portanto, ao apresentarmos um nível progressivo de análise procuramos evidenciar a relação entre as partes (cada um dos segmentos de aulas) e o todo (sequência didática observada) mantendo o leitor conectado à totalidade da experiência observada.

O percurso analítico seguido em nossa pesquisa, com três níveis de análise (macro, meso e micro), foi adotado para aproximar o leitor da minha visão da sala de aula investigada a fim de possibilitar o compartilhamento de sentidos entre o meu olhar e aquele que o leitor construirá a partir do contato com esse trabalho. Assim, na macroanálise a unidade de análise é toda a sequência didática acompanhada na pesquisa de campo, na mesoanálise olhamos apenas para as aulas em que simulações e laboratórios virtuais foram utilizados pelo professor e na microanálise nosso foco são

somente os segmentos, recortados dessas aulas, nos quais o professor fez uso de um mesmo aplicativo de simulação de fenômenos ondulatórios.

Na macroanálise, contrastamos as simulações e os laboratórios virtuais utilizados ao longo de toda a sequência de ensino com os demais recursos usados pelo professor. Essa análise esteve ancorada em propriedades da ação mediada e nos possibilitou compreender as diferenças entre simulações e laboratórios virtuais e as outras formas de mediação usadas na sala de aula como efeitos: (i) das possibilidades e restrições inerentes a quaisquer recursos mediacionais; (ii) da história dos agentes, em particular do professor, na realização de ações mediadas pelas simulações e laboratórios virtuais que ele escolheu utilizar em classe.

A segunda unidade de análise foi construída a partir de uma ampliação do Pentagrama de Burke, que foi descrito por Werstch (1999), e que foi usado em nossa pesquisa para identificar as ações complexas que compuseram as aulas analisadas. Os elementos constituintes dessas ações seguem exibidos no quadro 2.

**QUADRO 2: Os cinco elementos constituintes das ações complexas que compuseram as aulas analisadas**

<b>Ação complexa</b>	<b>Propósito</b>	<b>Ações subsidiárias</b>	<b>Recursos mediacionais</b>	<b>Divisão do trabalho entre os agentes</b>	<b>Cenário ou contexto</b>
----------------------	------------------	---------------------------	------------------------------	---	----------------------------

As ações complexas são entendidas em nossa pesquisa como ações mediadas por um recurso principal, como um aplicativo de computador, artefatos para experimentos, livro didático, entre outros. Sendo assim, a delimitação de uma ação complexa foi feita a partir da troca de recursos usados pelo professor. Em cada ação complexa, um dado recurso mediacional está em primeiro plano. Ao nomear essas ações nós também nomeamos os segmentos da aula que foram tomados como objetos dos dois processos de microanálise mencionados no quadro 1.

A caracterização das ações complexas prosseguiu com a atribuição de propósitos a elas e a identificação das várias ações subsidiárias que as constituem. As ações subsidiárias: (i) são mediadas por um ou mais recursos mediacionais identificados na quarta coluna

do quadro 2; (ii) pressupõem uma divisão do trabalho entre o professor e os estudantes descrita na quinta coluna do mesmo quadro. Por fim, a sexta coluna do quadro 2 serviu à descrição dos cenários ou contextos da realização das ações. Tais cenários nos remetem ao contexto sócio histórico mais amplo no qual a experiência educacional que nós investigamos ocorreu.

A análise que realizamos no nível da terceira unidade mencionada no quadro 1 foi inspirada na Semiótica Social. Para esse nível de análise utilizamos um padrão de transcrição multimodal das interações entre o professor e os estudantes que foram mediadas por simulações e laboratórios virtuais. De acordo com a Semiótica Social, gestos, ações, imagens, fala e escrita são considerados modos de comunicação, desde que permitam a realização de funções ideacionais, interpessoais e textuais (KRESS, 2009).

A análise que realizamos sob a orientação da quarta unidade mencionada no quadro 1 foi inspirada no conceito de inscrição didática (ROTH et al., 2005; PAULA, 2015). De acordo com esses autores, as inscrições didáticas mais tipicamente utilizadas no ensino das ciências são fotografias, ícones, gráficos, equações, dentre outras. Cada uma dessas inscrições assume uma posição específica dentro de um *continuum ontológico* que separa os mundos vividos pelos estudantes dos mundos concebidos pelas ciências. Fotografias, por exemplo, estão mais próximas dos mundos vividos. São menos abstratas e mais cheias de informações contextuais. Equações, por outro lado, estão mais próximas dos mundos concebidos pelas ciências e, praticamente, não contém informações contextuais. Inscrições didáticas complexas, tais como aquelas que compõem simulações e laboratórios virtuais, seriam constituídas por inscrições situadas em diferentes posições desse *continuum*.

### **3.4. ESTRATÉGIAS DE ANÁLISE**

#### **3.4.1. INÍCIO DO PROCESSO DE ANÁLISE**

A primeira etapa da análise dos dados consistiu na elaboração de relatos das aulas que foram registradas durante o trabalho de campo. Esses relatos foram produzidos na forma de textos a partir das notas do caderno de campo e de uma primeira consulta aos registros em vídeos das aulas. Os relatos representaram o primeiro passo do processo de

imersão nos dados da pesquisa, permitindo lançar um primeiro olhar para os registros das aulas, orientado por nossos referenciais teóricos. Além disso, dada a amplitude do material registrado, os relatos cumpriram a função de resumir os conteúdos dos vídeos a fim de possibilitar, nas consultas subsequentes, a localização de segmentos mais relevantes para o enfrentamento do nosso problema de pesquisa. Os relatos também foram fundamentais para as descrições das aulas que são apresentadas no capítulo 5. Essas descrições foram produzidas para possibilitar ao leitor de nossa pesquisa uma compreensão do sentido de cada segmento analisado dentro do contexto geral da aula do qual ele foi retirado.

### 3.4.2. MACROANÁLISE

O segundo passo do processo de imersão nos dados da pesquisa consistiu na organização de quadros com um cronograma das aulas e informações sobre os temas, local de realização, recursos utilizados, além de comentários concebidos a partir dos interesses da nossa pesquisa. O primeiro desses quadros, reproduzido a seguir, foi elaborado simultaneamente aos relatos e continha apenas informações mais gerais. Esse primeiro quadro constituiu uma linha do tempo da sequência de ensino observada na pesquisa e permitiu identificar as ocasiões nas quais houve uso de simulações e laboratórios virtuais. Na coluna comentários desse quadro, informamos se houve uso de simulações e laboratórios virtuais em uma dada aula, se ocorreu algum problema com os equipamentos usados para o registro das aulas, dentre outras informações que consideramos relevantes. As linhas desse quadro destacadas em amarelo identificam a ocorrência de recessos ou feriados. Já as setas à direita do quadro assinalam as aulas em que o professor fez uso de simulações e laboratórios virtuais.

**QUADRO 3: Estrutura do primeiro quadro construído para organizar os registros das aulas.**

Semana	Aula	Duração (min.)	Data	Tema	Local		Comentários
					Sala de aula	Laboratório	
1	2	50	08/10/2013 (terça)	Ondas sonoras	X		Aplicativo: Interferência ondulatória.
	3	100	10/10/2013 (quinta)	Física Térmica		X	Atividade prática sobre Física Térmica
			14/10/2013 (segunda)				Recesso



O segundo quadro, reproduzido a seguir, surgiu da consulta aos relatos das aulas que eu havia produzido na primeira fase da análise, bem como de uma segunda consulta aos vídeos. Esse novo quadro acrescenta ao anterior informações sobre os recursos utilizados em cada aula. Na coluna destinada aos comentários incluímos descrições e considerações sobre o tipo de recurso que o professor usou nas aulas.

**QUADRO 4: Estrutura do segundo quadro construído para organizar os registros das aulas.**

Tema da aula	Recursos utilizados na aula											Comentários	
	Roteiro	Texto	Lista de exercícios	Livro	Intervenções sobre imagens projetadas	Equações / Gráficos	Quadro com registro de palavras-chave e novos conceitos	Computador	Projetor	Apresentação de slides	Animações / vídeos		Aplicativo
Introdução à ondulatória		X	X	X		X	X	X			X	Mola metálica longa	Aplicativo usado: Ondas em uma corda
Ondas sonoras	X	X		X		X	X	X		X	X	Diapasões com caixas de ressonância	Animação que ilustra a produção do som pelo diapasão; Aplicativo: Interferência ondulatória.

Por fim, o terceiro e último quadro foi construído após uma terceira consulta aos vídeos e já apresenta as segmentações das aulas prevista no segundo nível de análise mencionada no quadro 1 (p. 50).

**QUADRO 5: Estrutura do terceiro quadro construído para organizar os registros das aulas.**

Tema da aula	Recursos utilizados na aula											Segmento	
	Roteiro	Texto	Lista de exercícios	Livro	Desenhos/Rabiscos	Equações / Gráficos	Quadro com registro de palavras-chave e novos conceitos	Computador	Projetor	Apresentação de slides	Animações / vídeos		Aplicativo
Introdução à ondulatória		X	X	X		X	X	X			X	Mola metálica longa	i) produção e interpretação de ondas geradas em uma mola esticada ao longo do comprimento da sala; ii) produção e interpretação de ondas simuladas pelo aplicativo "Ondas em uma corda", do projeto Phet ( <a href="http://phet.colorado.edu/pt_BR/">http://phet.colorado.edu/pt_BR/</a> ); iii) leitura do texto "As ondas elásticas e a Acústica" (Amaldi, 1995, p. 208-223) mediada por um roteiro preparado pelo professor e realizada em duplas.

Os três quadros oferecem um nível de detalhamento progressivo partindo de uma linha de tempo geral da sequência de ensino até a identificação de eventos-chave para o

objetivo da nossa pesquisa. Em seu conjunto os quadros permitem preservar a relação entre parte e todo no percurso analítico da pesquisa.

A partir dos relatos e dos quadros esquemáticos 3, 4 e 5, eu produzi uma macroanálise que me permitiu fazer uma caracterização geral do uso de simulações e laboratórios virtuais na sala de aula investigada. Uma das etapas da macroanálise consistiu na descrição dos usos que o professor fez dos diversos recursos nas aulas. Essa descrição, elaborada através de uma quarta consulta aos vídeos das aulas, foi organizada no quadro 6 exemplificado a seguir.

**QUADRO 6: Uso dos recursos nas aulas**

<b>RECURSO</b>	<b>FORMA DE USO</b>
Computador	1) Realização de atividades pelos estudantes a partir da manipulação de aplicativos que simulam fenômenos ondulatórios.  2) Projeção de slides, filmes curtos, animações e simulações da mesma classe de fenômenos.

Outra etapa da macroanálise consistiu na determinação da frequência de uso do computador e de artefatos para experimentos ao longo da sequência de ensino. Para isso, consulte o quadro 4 que tem colunas a partir das quais é possível identificar as aulas em que esses recursos foram utilizados. A partir de uma quinta consulta aos vídeos, eu registrei o início e o término dos segmentos das aulas nos quais o professor e os estudantes usaram os vários recursos mediacionais. Com esse procedimento, eu pude calcular o tempo total de uso desses recursos e, assim, produzir frequências semelhantes àquela apresentada no quadro 7 a seguir.

**QUADRO 7: Exemplo de quadro com frequência de uso do computador e dos artefatos para experimentos na sequência de ensino**

<b>NOME E FORMA DE USO</b>	<b>Tempo aproximado de uso</b>	
	<b>% do tempo total</b>	<b>número de aulas</b>
Computador com data show usado pelo professor para projeção de slides, filmes curtos e animações.	8%	6

### **3.4.3. MESOANÁLISE**

Na mesoanálise, usei o *software Microsoft Excel* para produzir planilhas nas quais as quatro aulas, em que o uso de simulações e laboratórios virtuais pelo professor mediou as interações entre ele e os estudantes, foram segmentadas com o emprego da segunda unidade de análise (ver quadro 1). A mesoanálise tanto contribuiu para a macroanálise, na medida em que ela pôs em destaque os vários recursos mediacionais que o professor coordenou com uso das simulações e laboratórios virtuais, como nos permitiu escolher segmentos das aulas para uma posterior análise densa das interações entre o professor e os estudantes mediadas por esses recursos multimodais.

### **3.4.4. MICROANÁLISE**

Para a microanálise, escolhemos segmentos de aula nos quais o professor fez uso de um mesmo aplicativo. Nessa etapa de análise, procuramos compreender como o professor utilizou diversos modos de comunicação para negociar junto aos estudantes certos significados ideacionais, interpessoais e textuais que foram identificados e caracterizados durante a análise densa dos segmentos escolhidos. Na microanálise, também fizemos capturas de tela do aplicativo usado pelo professor e interpretamos as inscrições didáticas que o constituem.

Há duas justificativas para a nossa decisão de analisar o uso de um mesmo aplicativo por parte do professor. Em primeiro lugar, o aplicativo em questão foi o mais usado ao longo da sequência de ensino investigada. Ele constituiu um recurso importante em três das quatro aulas centradas nas simulações e nos laboratórios virtuais. Em segundo lugar, sentimos a necessidade de analisar o uso do mesmo aplicativo em diferentes contextos, dado que a Teoria da Ação Mediada afirma que as limitações e potencialidades de um recurso mediacional não dependem, exclusivamente, de suas características, mas também dos objetivos das próprias ações, que variam conforme o contexto. Vale lembrar, a esse respeito, que nós atribuímos às ações protagonizadas pelo professor e mediadas pelo aplicativo o objetivo de negociar diferentes significados ideacionais, interpessoais e textuais junto aos estudantes.

### **3.5. CUIDADOS ÉTICOS**

O trabalho apresentado nesta tese fez parte de uma pesquisa mais ampla, financiada pela FAPEMIG, cujo objetivo era o de caracterizar e avaliar os recursos mediacionais e as estratégias didático-metodológicas criados para promover o ensino e a aprendizagem da Física na instituição onde a pesquisa foi realizada.

Essa pesquisa mais ampla foi registrada e aprovada no COEP/UFMG e foi identificada pelo código CAAE- 01459012.4.0000.5149. Essa aprovação envolveu a análise dos seguintes documentos: 1º- Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) para os pais; 2º- TCLE para estudantes; 3º- Termo de Anuência da instituição escolar. O professor participante da nossa investigação era também membro da equipe da pesquisa mais ampla acima citada e, por esse motivo, não foi elaborado um TCLE para ele.

Na primeira ocasião em que estive na sala de aula onde a investigação foi realizada, o professor me apresentou como pesquisador para os estudantes e eu expliquei pra eles a natureza da minha investigação. Nessa ocasião, os estudantes receberam o TCLE e, quando menores de idade, receberam também o TCLE elaborado para seus pais ou responsáveis. Além disso, eu li os termos com os participantes envolvidos, esclarecendo as informações neles contidas, explicitando a garantia do anonimato e a liberdade para não participar da pesquisa ou para interromper a participação a qualquer momento. Em um universo de 35 alunos(as), os registros em áudio e vídeo das atividades de 04 estudantes não foram realizados. Em acordo com o TCLE, nenhum tipo de penalidade ou constrangimento foi imposto a esses sujeitos.

Os estudantes participantes da pesquisa pertenciam, em sua maioria, a famílias com pais alfabetizados e com o Ensino Fundamental concluído. Portanto, tanto os estudantes quanto seus pais tinham plenas condições de compreenderem os TCLE que lhes foram apresentados, podendo optar conscientemente por colaborarem ou não com a pesquisa.

## 4. MESO E MACROANÁLISE DOS DADOS

Neste capítulo fazemos uma caracterização geral do uso de simulações e laboratórios virtuais na sala de aula investigada, identificando frequências de uso e formas de utilização desses recursos. Essa caracterização começou com o preenchimento de uma série de quadros que constituíram uma etapa da pesquisa que nós decidimos chamar de mesoanálise. Nesse nível de análise pude mapear as ações complexas que compuseram cada aula da sequência de ensino, bem como identificar os diversos recursos mediacionais que permitiram essas ações. O tratamento desses mesmos quadros deu origem a uma macroanálise a partir da qual nos sentimos capazes de responder às nossas duas primeiras questões de pesquisa (ver a primeira seção do capítulo 1).

### 4.1. EXEMPLO DE MESOANÁLISE

Devido à extensão e ao formato dos quadros produzidos em planilhas do *software Microsoft Excel*, nós decidimos apresentar no corpo da tese apenas um exemplo da mesoanálise. O formato das planilhas não me permitiu inseri-las no texto da tese, que foi impresso em páginas A4. Por outro lado, o mesmo formato facilitou o uso de filtros de dados e outros recursos do *Microsoft Excel* que contribuíram para a construção da macroanálise por meio da qual nós fizemos uma caracterização geral da sequência de ensino. Os dados reunidos na planilha da primeira aula da sequência de ensino foram reorganizados para serem apresentados nos quadros 8, 9 e 10 que compõem o exemplo de mesoanálise desta seção.

Na primeira aula, com duração de 100 minutos, o professor tinha o objetivo de introduzir o tema *Ondulatória*. Ele escolheu fazer essa introdução com a apresentação de algumas das principais características das ondas. A aula ocorreu logo após o intervalo de recreação do turno da manhã em uma sala ambiente que é utilizada apenas pelos professores de Física da escola. Segmentamos essa aula da seguinte maneira: (i) produção e interpretação de ondas geradas em uma mola esticada ao longo do comprimento da sala; (ii) produção e interpretação de ondas simuladas pelo aplicativo *Onda em Corda*, do projeto Phet<sup>3</sup>; (iii) leitura do texto *As ondas elásticas e a Acústica*

---

<sup>3</sup> PhET (sigla em inglês para Tecnologia Educacional em Física) é um programa da Universidade do Colorado que pesquisa e desenvolve aplicativos de simulações voltados para o ensino de ciências. Esses aplicativos estão disponíveis gratuitamente em <https://phet.colorado.edu/>.

(Amaldi, 1995, p. 208-223), que foi realizada em duplas e mediada por um roteiro preparado pelo professor.

No quadro 8, eu apresento uma caracterização do primeiro segmento da aula. Nesse quadro, bem como em todos os quadros similares e subsequentes, há uma correspondência entre os números colocados à frente das ações subsidiárias e aqueles que identificam os recursos mediacionais. Dessa forma, a ação subsidiária 1 foi mediada pelo recurso mediacional 1, a ação 2 pelo recurso 2 e, assim, sucessivamente. Por outro lado, a numeração das ações subsidiárias não identifica a ordem em que elas ocorreram na aula. Assim, por exemplo, a ação subsidiária 2 não precedeu, necessariamente, a ação subsidiária 3. De fato, durante o segmento analisado, o professor transitou várias vezes entre essas duas ações.

#### **QUADRO 8: Descrição do segmento 1 da primeira aula**

<b>Ação complexa</b>	Produção e interpretação de ondas em uma mola longa.
<b>Propósito</b>	Apresentar, paulatinamente, as principais características de uma onda, tais como elas são definidas pela Física escolar.
<b>Ações subsidiárias</b>	1- Antes de manipular a mola o professor escreve no quadro o tema da aula: o que é uma onda. 2- Produção manual de pulsos na mola conjugadas com a descrição verbal de suas características que, paulatinamente, apresentam aos estudantes o conceito de onda. 3-Registro, no quadro branco, das características atribuídas oralmente às ondas na ação subsidiária anterior.
<b>Recursos mediacionais</b>	1- Quadro branco e modo verbal escrito. 2- Mola, modo verbal oral e modo acional (manipulação de objetos). 3- Quadro branco e modos verbais oral e escrito.
<b>Divisão do trabalho entre os agentes</b>	Com a ajuda de uma estudante, que segura uma extremidade da mola, o professor manipula a mola, descreve os fenômenos que essa manipulação produz e, assim, introduz conceitos que servem à caracterização das ondas. Os estudantes participam com interesse e apresentam questões sobre o tema.
<b>Cenário</b>	Trata-se da primeira aula sobre o tema ondulatória. A sala foi previamente configurada pelo professor para apresentar um largo corredor central. Os estudantes que estavam nas carteiras próximas ao corredor ficaram assentados e os outros ficaram em pé e voltados para o corredor. O professor se posicionou no centro do corredor para manipular a mola. Vez por outra, o professor deixava essa posição e ia ao quadro para escrever afirmações que apresentaram aos estudantes os conceitos de vibração, período, frequência, amplitude e transmissão de energia.

A análise desse primeiro segmento nos mostra que a realização da ação complexa *Produção e interpretação de ondas em uma mola longa* envolve diversas ações subsidiárias cujos objetivos são coordenados pelo propósito da ação complexa. Por exemplo, a aula começa com uma ação subsidiária cujo objetivo é o registro no quadro do tema eleito pelo professor: *o que é uma onda*. Assim como as posteriores, essa primeira ação colabora com o propósito da ação complexa: apresentar, paulatinamente aos estudantes, as principais características de uma onda, tal como definidas pela Física escolar.

No quadro 9, apresento uma descrição do segundo segmento da aula.

#### QUADRO 9: Descrição do segmento 2 da primeira aula

<b>Ação complexa</b>	Produção de ondas no aplicativo <i>Onda em Corda</i> e interpretação das representações nele reunidas.
<b>Propósito</b>	Reprodução de pulsos transversais no aplicativo, que já haviam sido realizados com a mola, para explicitar aspectos inobserváveis das ondas, tanto em função da velocidade dos movimentos das regiões da mola atingidas pela onda, quanto em virtude da velocidade da própria onda.
<b>Ações subsidiárias</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1- Interpretação, junto aos estudantes, dos signos que compõem as inscrições didáticas que aparecem na tela do aplicativo.</li> <li>2- Reprodução de ondas transversais já produzidas com a mola.</li> <li>3- Produção de rabiscos e sinalizações à caneta sobre imagens em movimento produzidas pelo aplicativo e projetadas pelo <i>Datashow</i> no quadro branco.</li> <li>4- Apresentação de questões aos estudantes que demandam o estabelecimento de comparações entre as ondas produzidas com a mola e aquelas simuladas pelo aplicativo.</li> </ol>
<b>Recursos mediacionais</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1- Aplicativo <i>Onda em Corda</i>, modo visual imagens em movimento, modo de comunicação interação com imagens, modo gestual e modo verbal oral.</li> <li>2- Modo acional (manipulação do aplicativo <i>Onda em Corda</i>), modo verbal oral e modo gestual.</li> <li>3- Quadro branco, manipulação do aplicativo e orquestração dos modos gestual, verbal oral, verbal escrito e interação com imagens.</li> <li>4- Modo verbal oral e os conceitos de direção de vibração e direção de propagação da onda.</li> </ol>
<b>Divisão do trabalho entre os agentes</b>	O professor manipula o aplicativo, produz rabiscos e sinalizações sobre as imagens projetadas no quadro e dirige questões aos estudantes. Vários estudantes perdem o interesse no que está sendo apresentado pelo professor que se aproxima de alguns deles lhes dirigindo questões sobre o tema. Outros estudantes, sobretudo aqueles assentados mais próximos do professor, continuam atentos à aula e fazem perguntas sobre o tema.

<b>Cenário</b>	Em termos do cenário descrito no segmento 01, houve as seguintes mudanças: (a) retorno à configuração da sala na qual estudantes permanecem voltados para o quadro e para o professor, porém com carteiras mais próximas umas das outras devido à manutenção do corredor central; (b) dispersão de vários estudantes que deixam de participar da aula e iniciam conversas paralelas parcialmente coibidas pelo professor, que usou como estratégia se aproximar desses estudantes e lhes dirigir questões sobre o tema em pauta.
----------------	--

No segmento 2, o aplicativo *Onda em Corda* mediou uma ação complexa que demandou novas ações subsidiárias dos agentes e promoveu alterações no cenário. Em conformidade com a propriedade da ação mediada segundo a qual os recursos mediacionais possibilitam e, ao mesmo tempo, restringem a ação, o propósito do segmento 2 está relacionado às: (i) limitações do recurso mediacional anteriormente usado pelo professor (uma mola, esticada ao longo do comprimento da sala); (ii) potencialidades do novo recurso mediacional (o aplicativo *Onda em Corda*) com o qual é possível pausar e avançar passo a passo os movimentos que constituem a onda e que eram inobserváveis na manipulação da mola. O aplicativo *Onda em Corda* possui suas próprias limitações. Por exemplo, é impossível produzir pulsos longitudinais com ele. Assim, esse tipo de pulso foi produzido, então, apenas no primeiro segmento da aula a partir da manipulação da mola.

Na lista de ações subsidiárias do quadro 9, merece destaque o cuidado do professor em interpretar, junto aos estudantes, os signos que compõem as inscrições didáticas expostas nas telas do aplicativo. Inscrições diferentes surgem a partir de mudanças de configuração permitidas pelo aplicativo, tais como alterações na fonte das oscilações que dá origem às ondas, a opção por deixar a outra extremidade da corda fixa ou livre para oscilar, variações na tensão aplicada sobre a corda, dentre outras.

No quadro 10, apresento uma descrição do terceiro e último segmento identificado na aula.

**QUADRO 10: Descrição do segmento 3 da primeira aula**

<b>Ação complexa</b>	Leitura, em duplas, do texto "As ondas elásticas e a Acústica" do livro <i>Imagens da Física</i> de Ugo Amaldi.
<b>Propósito</b>	Dar continuidade ao processo de introdução de conceitos-chave da ondulatória iniciado nos segmentos 1 e 2 da aula e introduzir outras situações descritas verbalmente e ilustradas figurativamente no texto didático cuja leitura foi demandada.
<b>Ações subsidiárias</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1- Organização dos estudantes em duplas, entrega do roteiro de mediação da leitura e do livro didático com o texto cuja leitura foi demandada.</li> <li>2- Circulação do professor pela sala, de maneira a esclarecer dúvidas e exigir a realização da atividade por parte de estudantes eventualmente dispersos.</li> <li>3- Uso de gestos para representar ideias e fenômenos ondulatórios apresentados no texto e discutidos nos segmentos 1 e 2 da aula.</li> <li>4- Anotação, no diário, dos nomes dos estudantes que produziram registros da atividade de leitura em seus próprios cadernos e de respostas dadas às questões apresentadas no roteiro.</li> </ol>
<b>Recursos mediacionais</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1- Comportamento proxêmico, postura, olhar, movimentos de cabeça, manipulação de objetos e modo verbal oral.</li> <li>2- Livro didático, roteiros impressos para mediar a leitura de uma seção do livro, modo verbal oral, comportamento proxêmico, postura, olhar e movimentos de cabeça.</li> <li>3- Orquestração entre os modos verbal oral e gestual.</li> <li>4- Comportamento proxêmico e manipulação do diário de classe.</li> </ol>
<b>Divisão do trabalho entre os agentes</b>	Os estudantes realizam a leitura solicitada e respondem às questões apresentadas pelo roteiro. O professor circula pela sala, esclarece dúvidas dos estudantes, age no sentido de exigir que os estudantes dispersos realizem a tarefa que lhes foi proposta e registra no diário a produção escrita dos estudantes.
<b>Cenário</b>	Em termos do cenário descrito no segmento 2, houve as seguintes mudanças: (a) a configuração das carteiras é alterada para uma configuração de carteiras em duplas; (b) ocorre uma circulação sistemática do professor entre as duplas de estudantes distribuídas pela sala; (c) aumenta o nível de ruído sonoro em função da discussão, entre os estudantes, das questões do roteiro de mediação de leitura; (d) ocorre movimentação de alguns estudantes em direção ao professor para apresentar a produção escrita a ser registrada no diário.

Assim como foi observado no segmento 2, o uso de um novo recurso mediacional no segmento 3, demandou novas ações dos agentes e provocou grandes alterações no cenário. Em termos das ações subsidiárias que aparecem no quadro 10, chamo a atenção para o registro no diário da produção escrita dos estudantes em resposta às questões apresentadas no roteiro de mediação de leitura. Esse registro pode ser interpretado como

uma forma de garantir a execução da atividade por parte dos estudantes, mas também como uma sinalização da importância que o professor atribui ao registro, pelos estudantes, das atividades realizadas em sala de aula. A afirmação de que o registro de atividades no caderno é importante para esse professor pode ser encontrada em um artigo escrito por ele em coautoria com seu colega de trabalho<sup>4</sup>.

Na aula analisada nesta seção, o professor justificou a realização da atividade de leitura mediada pelo roteiro como uma forma dos estudantes sistematizarem os conceitos apresentados e discutidos nos segmentos 1 e 2 sumarizados por meio dos quadros 8 e 9.

Chamamos a atenção também para a alteração ocorrida no cenário em função do novo recurso mediacional usado na ação complexa descrita no segmento. O professor, que nos segmentos anteriores manteve-se à frente da sala demonstrando ser o principal agente daquelas ações, passa a circular entre os estudantes que são os principais agentes dessa nova ação complexa.

---

<sup>4</sup> Omitimos aqui a referência bibliográfica por entender que ela permitiria a identificação do professor.

## 4.2. CARACTERIZAÇÃO GERAL DO USO DE SIMULAÇÕES E LABORATÓRIOS VIRTUAIS

Os quadros mostrados a seguir reúnem as informações que deram origem à macroanálise dos dados.

**QUADRO 11: Datas, duração e temas das aulas**

Semana	Aula	Duração (min.)	Data	Tema	Local		Comentários
					Sala de aula	Laboratório	
1	1	100	07/10/2013 (segunda)	Introdução à ondulatória	X		Aplicativo: Ondas em uma corda
	2	50	08/10/2013 (terça)	Ondas sonoras	X		Aplicativo: Interferência ondulatória.
	3	100	10/10/2013 (quinta)	Física Térmica		X	Atividade prática sobre Física Térmica
2			14/10/2013 (segunda)				Recesso
			15/10/2013 (terça)				Feriado
	4	100	17/10/2013 (quinta)	Física Térmica		X	Elaboração de relatório da atividade prática da aula anterior. O professor solicitou via-email o seguinte "Para Casa": Atividades 1 e 2 do e-book "Atividades em um laboratório virtual de ondulatória".
3	5	100	21/10/2013 (segunda)	Ressonância	X		Aplicativo usado: Ondas em uma corda;
	6	50	22/10/2013 (terça)	(i) Ressonância:fala e audição (ii) Características dos sons: altura, intensidade e timbre	X		Não houve o uso de ambientes virtuais. Para Casa: Atividades 3 e 4 do e-book.
	7	100	24/10/2013 (quinta)	ondas estacionárias em cordas		X	Não houve uso de ambientes virtuais.
4			28/10/2013 (segunda)				Recesso
	8	50	29/10/2013 (terça)	Revisão dos temas anteriores	X		Aula destinada à resolução de exercícios.
	9	100	31/10/2013 (quinta)	ondas estacionárias em cordas		X	Aula destinada à redação do relatório da atividade prática.
5	10	100	04/11/2013 (segunda)	Interferência	X		Aplicativos usados: Ondas em uma corda; um sobre superposição de pulsos; Interferência de ondas.
	11	50	05/11/2013 (terça)	Interferência e Difração	X		Aula destinada à resolução de exercícios em duplas.
	12	100	07/11/2013 (quinta)	Interferência e Difração		X	Aplicativo usado: Interferência ondulatória
6	13	100	11/11/2013 (segunda)	Difração e Interferência	X		Não houve o uso de aplicativos.
	14	50	12/11/2013 (terça)	Interferência	X		Aula destinada à correção de exercícios.
	15	100	14/11/2013 (quinta)	Prova			Aula destinada à avaliação final. Nesta aula, que não foi filmada, o pesquisador despediu-se da turma e agradeceu pela participação na pesquisa.

**QUADRO 12: Temas das aulas e recursos utilizados pelo professor**

Tema da aula	Recursos utilizados na aula											Comentários			
	Roteiro	Texto	Lista de exercícios	Livro	Intervenções sobre imagens projetadas	Equações / Gráficos	Quadro com registro de palavras-chave e novos conceitos	Computador	Projetor	Apresentação de slides	Animações / vídeos		Aplicativo	Artefatos para experimentos	
Introdução à ondulatória			X	X	X		X	X	X			X	Mola metálica longa	Aplicativo usado: Ondas em uma corda	
Ondas sonoras	X		X		X		X	X			X	X	Diapasões com caixas de ressonância	Animação que ilustra a produção do som pelo diapasão; Aplicativo: Interferência ondulatória.	
Ressonância	X						X	X	X			X	X	Montagem com 3 pêndulos; Montagem com 5 pêndulos acoplados; Lâminas vibrantes; Diapasões e caixas de ressonância.	Aplicativo usado: Ondas em uma corda; Vídeo usado: a queda da ponte Tacoma.
(i) Ressonância: fala e audição (ii) Características dos sons: altura, intensidade e timbre		X	X				X	X	X	X				Apresentação de slides sobre os aparelhos fonador e auditivo; Vídeos: exame de videolaringoscopia e raio X de uma pessoa cantando; Animação sobre o ouvido humano; Slides mostrando a forma da onda de diferentes instrumentos musicais.	
ondas estacionárias em cordas	X												Montagem para produção de ondas estacionárias em uma corda: gerador de áudio, vibrador, corda longa, massas para tensionar a corda.		
Revisão dos temas anteriores			X			X								Aula destinada à resolução de exercícios.	
ondas estacionárias em cordas	X													Aula destinada à redação do relatório da atividade prática.	
Interferência	X				X		X	X	X			X	Mola metálica longa; Dois alto falantes; LASER e fendas duplas.	Aplicativos usados: Ondas em uma corda; um sobre superposição de pulsos; Interferência de ondas. Apresentação de slides sobre as condições para ocorrer interferência destrutiva e construtiva (os slides tinham animações em alguns momentos)	
Interferência e Difração			X	X		X	X							Aula destinada à resolução de exercícios em duplas.	
Interferência e Difração	X							X				X		Aplicativo usado: Interferência ondulatória Roteiro: Atividades 6 e 7 do e-book "Atividades em um laboratório virtual de ondulatória".	
Difração e Interferência			X		X		X	X	X					Slides com fotografias de difração de ondas no mar; Slides com as imagens da atividade 7 do e-book; Slides (com animação) com alguns exercícios da lista. O professor distribuiu inicialmente uma lista de exercícios sobre difração e depois outra sobre interferência.	
Interferência					X	X		X	X	X				Apresentação de slides sobre as condições para ocorrer interferência destrutiva e construtiva (os slides tinham animações em alguns momentos) Slides (com animação) com alguns exercícios da lista.	
Prova	X													Aula destinada à avaliação final.	

**QUADRO 13: Segmentação das aulas e caracterização do uso de simulações e laboratórios virtuais.**

Tema da aula	Recursos utilizados na aula											Artefatos para experimentos	Segmento	
	Roteiro	Texto	Lista de exercícios	Livro	Desenhos/Rabiscos	Equações / Gráficos	Quadro com registro de palavras-chave e novos conceitos	Computador	Projeto	Apresentação de slides	Animações / vídeos			Aplicativo
Introdução à ondulatória			X	X	X		X	X	X			X	Mola metálica longa	i) produção e interpretação de ondas geradas em uma mola esticada ao longo do comprimento da sala; ii) produção e interpretação de ondas simuladas pelo aplicativo "Ondas em uma corda", do projeto Phet ( <a href="http://phet.colorado.edu/pt_BR/">http://phet.colorado.edu/pt_BR/</a> ); iii) leitura do texto "As ondas elásticas e a Acústica" (Amaldi, 1995, p. 208-223) mediada por um roteiro preparado pelo professor e realizada em duplas.
Ondas sonoras	X		X		X		X	X			X	X	Diapasões com caixas de ressonância	i) produção e interpretação de sons produzidos em diapasões acoplados a caixas de ressonância mediadas por questões de um roteiro preparado pelo professor; ii) produção e interpretação de gráficos de ondas sonoras simuladas pelo aplicativo "Interferência de Ondas", do projeto Phet, mediadas por questões de um roteiro preparado pelo professor; iii) realização de atividade avaliativa em grupo.
Ressonância	X						X	X	X		X	X	Montagem com 3 pêndulos; Montagem com 5 pêndulos acoplados; Lâminas vibrantes; Diapasões e caixas de ressonância.	i) produção e interpretação de ondas simuladas pelo aplicativo "Ondas em uma corda", do projeto Phet , mediadas pelo roteiro das atividades 1 e 2 do e-book "Atividades em um laboratório virtual de ondulatória"; ii) produção e interpretação de oscilações produzidas em pêndulos, lâminas vibrantes e diapasões, mediadas por questões de um roteiro preparado pelo professor; iii) interpretação do fenômeno de ressonância exibido em um filme.
Interferência	X				X		X	X	X			X	Mola metálica longa; Dois alto falantes; LASER e fendas duplas.	i) produção e interpretação de ondas geradas em uma mola esticada ao longo do comprimento da sala mediadas por questões de um roteiro elaborado pelo professor; ii) produção e interpretação de ondas simuladas pelo aplicativo "Ondas em uma corda", do projeto Phet, mediadas por questões de um roteiro elaborado pelo professor; iii) produção e interpretação de ondas estacionárias geradas em uma mola esticada ao longo do comprimento da sala; iv) produção e interpretação de ondas estacionárias simuladas por outro aplicativo,mediadas por questões de um roteiro elaborado pelo professor; v) produção e interpretação de interferência de ondas sonoras usando dois alto falantes, mediadas por questões do roteiro; vi) produção e interpretação de interferência de ondas na água, simuladas pelo aplicativo "Interferência de Ondas", do projeto Phet, mediadas por questões de um roteiro
Interferência e Difração	X							X				X		i) instruções sobre a atividade a ser realizada pelos estudantes; ii) manipulação do aplicativo "Interferência de Ondas", do projeto Phet, mediada pelas atividades 6 e 7 do e-book "Atividades em um laboratório virtual de ondulatória".

Conforme podemos constatar mediante a leitura dos quadros 11, 12 e 13, a sequência de ensino sobre ondulatória foi desenvolvida em cinco aulas de 50 minutos e oito aulas

geminadas de 100 minutos. No total, foram destinadas 17 horas e meia ao seu desenvolvimento. Das treze aulas que constituem a sequência de ensino, a última foi destinada a uma prova para avaliar a compreensão dos estudantes sobre os conceitos e modelos da ondulatória. Em cinco aulas, o professor fez uso de simulações e laboratórios virtuais para apresentar, caracterizar e explorar fenômenos ondulatórios junto aos estudantes.

Nas outras sete aulas as simulações e os laboratórios virtuais não foram usados diretamente mas, mesmo assim, serviram de referência para: (i) sustentar explicações dadas aos estudantes; (ii) produzir o contexto de exercícios de lápis e papel; (iii) propor atividades extraclasse sobre vários tópicos da ondulatória. Nesse sentido, podemos afirmar que esses aplicativos mediaram, direta ou indiretamente, toda a sequência de ensino.

As informações contidas nos quadros 11 a 13 evidenciam uma característica importante do professor: uso de uma grande diversidade de recursos durante as aulas. Esses recursos foram classificados nos quatro grupos discriminados no quadro 14 a seguir.

**QUADRO 14: Formas de uso dos recursos nas aulas**

<b>RECURSO</b>	<b>FORMAS DE USO</b>
(a) Computador com ou sem <i>data show</i>	1) Realização de atividades pelos estudantes a partir da manipulação de aplicativos que simulam fenômenos ondulatórios.  2) Projeção de slides, filmes curtos, animações e simulações da mesma classe de fenômenos.
(b) Material impresso	1) Roteiros para realização de atividades individuais ou em grupo, tais como: experimentos envolvendo a manipulação de artefatos para experimentos e/ou a simulação de fenômenos no computador; leituras orientadas de textos didáticos; questões de lápis e papel cuja resolução envolve a utilização de simulações e laboratórios virtuais.  2) Textos didáticos de autoria do grupo de professores para o tratamento de fenômenos ondulatórios específicos, como ressonância e interferência, por exemplo.  3) Listas de exercícios.  4) Livro didático.

(c) Quadro branco	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Registro de avisos que servem para o estabelecimento de uma agenda para a aula em curso ou para aulas seguintes.</li> <li>2) Instruções para a realização de tarefas propostas nas aulas.</li> <li>3) Intervenções sobre imagens das simulações e dos laboratórios virtuais que são projetadas no quadro e dão destaque a aspectos dos fenômenos em estudo.</li> <li>4) Registro de equações e gráficos.</li> <li>5) Definição ou denominação de conceitos que cumprem papel importante na interpretação dos fenômenos em estudo.</li> <li>6) Proposição e resolução de exercícios.</li> </ol>
(d) Artefatos para experimentos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Realização de demonstrações experimentais em sala de aula por meio, por exemplo, de molas, diapásões, alto-falantes, caixas de ressonância, lâminas vibrantes, pêndulos e cordas.</li> <li>2) Realização de experimentos no laboratório.</li> </ol>

Nossos dados sugerem que o professor tem consciência das potencialidades e limitações dos vários recursos mediacionais usados em sala de aula e, por isso, combina diferentes recursos para perseguir os propósitos das aulas. Por exemplo, na segunda aula da sequência de ensino, o professor utiliza um diapásão, uma animação dos movimentos do diapásão e uma simulação dos movimentos de um alto-falante em funcionamento.

Com o diapásão não é possível visualizar as vibrações das hastes do instrumento, nem as compressões e rarefações do ar que as hastes provocam. Por outro lado, o diapásão possibilita a produção de um som audível para os estudantes, o que não ocorre com a animação. A simulação mostra a vibração do cone do alto-falante produzindo compressões e rarefações semelhantes àquelas exibidas, anteriormente, pela animação do movimento das hastes do diapásão. Juntos, esses três recursos introduzem aos estudantes uma das representações da propagação de uma onda sonora.

Em linhas gerais, as simulações e os laboratórios virtuais foram usados: (i) com o professor manipulando o computador; (ii) com os estudantes trabalhando em duplas usando roteiros (chamados tutoriais) para manipular o aplicativo; (iii) durante a realização de tarefas em casa, solicitadas pelo professor. A manipulação de aplicativos

pelo professor ocorreu em uma aula de 50 minutos e em três aulas de 100 minutos. A manipulação de aplicativos em duplas pelos estudantes ocorreu em uma única aula de 100 minutos. Em duas ocasiões, o professor indicou como tarefa de casa o uso de aplicativos mediado por um roteiro de atividades.

O quadro 15 mostra a frequência de uso do computador e dos artefatos para experimentos ao longo da sequência de ensino. Nesse quadro, o percentual do tempo total de uso foi calculado levando-se em consideração as 17 horas e meia (1050 min.) destinadas à sequência de ensino.

**QUADRO 15: Frequência de uso do computador e dos artefatos para experimentos**

NOME E FORMA DE USO	Tempo aproximado de uso	
	% do tempo total	número de aulas
Computador com data show usado pelo professor para manipular aplicativos que simulam fenômenos ondulatórios.	11%	4
Computador com data show usado pelo professor para projeção de slides, filmes curtos e animações.	8%	6
Computador sem data show usado pelos estudantes para manipular os mesmos tipos de aplicativos.	5%	1
Artefatos para experimentos usados pelo professor em sala de aula para realização de demonstrações e investigações compartilhadas.	8%	4
Artefatos para experimentos usados pelos estudantes para realização de uma atividade experimental no laboratório.	7,5%	1

Os dados do quadro 15 mostram que em 16% da sequência de ensino o computador foi usado com aplicativos que simulam fenômenos ondulatórios. Os artefatos para experimentos, manipulados pelo professor ou pelos estudantes, também foram usados praticamente o mesmo tempo (15,5%). As quatro aulas em que o computador foi usado pelo professor para manipular os aplicativos são as mesmas em que foram usados

artefatos para experimentos. Esse dado mostra que o professor coordena esses dois recursos em suas aulas.

Nas aulas em que o professor manipulou simulações e laboratórios virtuais, identificamos a exploração de: i) questões impressas em um roteiro distribuído aos estudantes; ii) conceitos-chave da ondulatória resgatados sem o auxílio de um roteiro e, posteriormente, registrados no quadro; iii) uma tarefa extraclasse solicitadas aos estudantes. As explorações mediadas por roteiros impressos ocorreram em três aulas de 100 minutos. A exploração sem uso de roteiro impresso ocorreu na primeira aula, com duração de 100 minutos. Aquela orientada para a discussão da tarefa extraclasse aconteceu em uma aula de 50 minutos.

Em todas as três situações mencionadas no parágrafo anterior, verificamos a realização de explorações demandadas por questões ou sugestões apresentadas pelos estudantes. A constante intervenção dos estudantes nos levou a uma reflexão sobre a maneira como o professor se refere às atividades realizadas com simulações e laboratórios virtuais identificadas, por ele, como *demonstrações*.

Geralmente, uma demonstração é uma atividade na qual o professor manipula materiais e os utiliza para exemplificar um fenômeno. Nessa situação, pode haver pouca interferência dos estudantes desestimulados a participar dado seu desconhecimento acerca das razões pelas quais o professor realiza certas ações e operações. Quando isso acontece, os estudantes costumam apenas assistir à demonstração. Em alguns casos, o resultado é antecipado pelo professor, mesmo antes de iniciar a manipulação dos materiais. Configurada dessa maneira, a demonstração desempenha um papel epistemológico de nível mais baixo servindo apenas à “confirmação” de afirmações empíricas previamente apresentadas aos estudantes.

No caso do sujeito da nossa pesquisa, apesar de ser ele o responsável pela manipulação dos materiais, a participação dos estudantes mediante a apresentação de perguntas ou sugestões para a manipulação dos materiais alteram as ações e operações realizadas pelo professor. Isso é uma evidência do interesse dos estudantes pelo tema. O professor também contribui para que suas “demonstrações” desempenhem um papel epistemológico mais alto ao demandar dos estudantes a realização de previsões e a comparação entre essas previsões e os resultados dos fenômenos observados.

A participação dos estudantes nas ocasiões em que ocorreu o uso de simulações e laboratórios virtuais pode ser parcialmente explicada pelo cuidado do professor em auxiliá-los a interpretar os signos que compõem as inscrições didáticas expostas nas telas dos aplicativos, com destaque para as funções dos comandos que permitem configurar diferentes explorações ou experimentos.

## 5. MESO E MICROANÁLISE DOS DADOS

Neste capítulo descrevo e analiso três segmentos selecionados nas aulas dos dias 07/10/13, 21/10/2013 e 04/11/2013. Os temas dessas aulas foram, respectivamente, a introdução ao estudo da ondulatória, a ressonância e a interferência. Em todos os segmentos o professor faz uso de um mesmo aplicativo.

Depois de apresentar o padrão usado na transcrição dos segmentos, eu descrevo as aulas para contextualizar os segmentos escolhidos para análise. Em seguida, reproduzo os quadros que elaborei para descrever as diversas ações do professor em cada segmento. Prosseguindo na apresentação e análise dos dados, eu apresento as transcrições multimodais para mostrar como nós interpretamos a forma como o professor mediou a interação dos estudantes com os fenômenos representados por meio do aplicativo *Onda em Corda*, mas, também, a forma como o próprio aplicativo mediou as ações do professor em cada segmento. Por fim, eu utilizo os dados para retomar o problema da pesquisa e reunir elementos para responder às duas últimas questões que a orientaram.

### 5.1. PADRÃO USADO NA TRANSCRIÇÃO DOS SEGMENTOS

As transcrições dos segmentos foram organizadas com o intuito de registrar os múltiplos modos de comunicação usados pelo professor para mediar a interação dos estudantes com o aplicativo. Eu fragmentei os segmentos ao identificar diversas intenções retóricas que parecem ter motivado o professor a dizer, gesticular e agir ao longo de cada segmento. Essas intenções são apresentadas nas subseções 5.2.3, 5.3.3 e 5.4.3 nas quais os segmentos estão transcritos.

Nas transcrições verbais procurei registrar as falas da maneira como foram proferidas pelo professor e pelos estudantes. Mudanças de entonação associadas a perguntas foram marcadas por pontos de interrogação (?). Aquelas usadas para enfatizar certas afirmações foram indicadas por pontos de exclamação (!). Prolongamentos de vogais foram registrados pelo uso de quatro pontos (:). A barra (/) representa uma pequena pausa, ao passo que pausas longas tiveram sua duração aproximada registrada entre parênteses simples. Os colchetes [ ] indicam falas simultâneas e as barras duplas (//) sinalizam uma interrupção do discurso. Finalmente, para incluir comentários ou esclarecer falas lacunares, utilizei os duplos parênteses (( )).

Utilizei nomes fictícios para identificar os estudantes. Quando isso não foi possível, pelo fato do estudante estar fora do campo de visão da câmera de vídeo, usei a expressão *estudante não identificado*.

Abaixo da transcrição verbal, eu indiquei o uso de gestos e a realização de ações que compõem os modos de comunicação utilizados pelo professor. Para isso, adotei os ícones, mostrados no quadro 16, que têm sido usados nas transcrições de interações multimodais no grupo de pesquisa do qual eu faço parte, composto por meu orientador e por mais um colega, também aluno de doutorado.

**QUADRO 16: Ícones usados para representar gestos e ações**

Gestos	
Manipulação de objetos	
Movimentos de cabeça	
Mudança de postura corporal	
Olhar	
Proxêmica	
Inscrição no quadro	
Interação com imagens	

É importante esclarecer que a ação de manusear o *mouse*, muito recorrente nos segmentos, não foi identificada nas transcrições pelo ícone *manipulação de objetos*. Identifiquei essa ação com o ícone *interação com imagens*. O professor manuseia o *mouse* para: (i) alterar as configurações do aplicativo; (ii) apontar inscrições presentes na tela; (iii) iniciar ou pausar a simulação de um fenômeno. Nessas três situações, a atenção dos estudantes não está voltada para a mão do professor que manipula o *mouse*, mas sim para a imagem da tela do computador projetada no quadro. Em outras palavras, o professor usa o *mouse* para interagir com as imagens, razão pela qual julguei mais apropriado recorrer ao ícone que remete a essa ação.

Cada ícone é acompanhado por um número e uma letra minúscula. O número se refere ao subsegmento. Quando a letra minúscula que acompanha o número sofre alteração, por exemplo, de 2a para 2b, isso indica que uma mesma ação ou gesto voltou a ocorrer no mesmo subsegmento. Assim, por exemplo, na transcrição que é apresentada na subseção 5.2.3 desta tese, o índice **1a** é utilizado quatro vezes. A primeira ocorrência identifica o primeiro gesto produzido no subsegmento **SS1**; a segunda ocorrência do mesmo índice faz referência ao primeiro comportamento proxêmico do mesmo subsegmento, a terceira ocorrência identifica a primeira mudança de postura corporal e a quarta ocorrência faz referência à primeira interação com imagens. O índice 1b se refere ao segundo gesto que ocorreu nesse subsegmento, tanto quanto ao segundo comportamento proxêmico, à segunda mudança de postura corporal e à segunda interação com imagens.

Quando duas ou mais ações ou gestos são realizados quase ao mesmo tempo, dois ou mais ícones são colocados no espaço entre chaves. As chaves marcam o início e o término de uma ação ou gesto (ou de um conjunto de ações e gestos).

Na transcrição dos gestos eu sincronizei a fala com o golpe gestual que, de acordo com Kendon (2004), é a fase mais expressiva do gesto. Para isso, o ícone que identifica o gesto foi colocado abaixo da palavra cuja elocução coincide com o golpe gestual. É no golpe gestual que podemos identificar o referente do gesto. Diferentemente de Kendon (idem) e dos trabalhos que têm sido desenvolvidos por outros membros do meu grupo de pesquisa, nem sempre registrei a fase de preparação que antecede o golpe. A duração dessa fase é, em geral, muito curta. Assim, eu optei por representá-la, apenas, naquelas situações em que ela ocupou maior intervalo de tempo. Nesses casos, usei o símbolo ~~~~~ para representá-la. Às vezes, a fase mais expressiva do gesto, o golpe, é sustentada por certo tempo, após ter sido realizada. Para representar a sustentação do golpe eu utilizei o símbolo \*\*\*\*\*. A duração de uma ação ou de um gesto foi representada por uma linha tracejada -----. Não me preocupei também em registrar a fase do gesto na qual ocorre o retorno do corpo à posição de conforto. Há duas razões que justificam a minha escolha. Em primeiro lugar, Kendon (idem) utilizou o seu padrão de transcrição para analisar o uso de gestos em interações de curta duração. Nos segmentos analisados nesta tese, além da duração ser muito maior, há o registro não só de gestos mas também de outras ações realizadas pelo professor, como mostrado no

quadro 16. Em segundo lugar, Kendon (idem) estava interessado em investigar a coordenação temporal entre aspectos cinésicos dos gestos e as características prosódicas da fala, por isso a importância de registrar todas as fases do gesto. A coordenação entre prosódia e gesticulação não é foco da minha análise.

## **5.2. SEGMENTO 2 DA AULA DO DIA 07/10/2013**

### **5.2.1. DESCRIÇÃO DA AULA**

Quando os estudantes chegaram à sala, encontraram-na com um *layout* diferente do habitual. Havia na sala um largo corredor central e as carteiras estavam enfileiradas duas a duas em torno deste corredor.

O professor esclareceu que iria fazer algumas demonstrações experimentais com o uso de uma mola metálica helicoidal para introduzir o conceito de onda. Em seguida, registrou no quadro o tema da aula: *o que é uma onda*. Dirigiu-se para o grande corredor central segurando a mola em suas mãos, solicitou a participação de um voluntário (uma estudante se apresentou) e repetiu oralmente a pergunta que havia registrado previamente no quadro.

Para desenvolver esse tema, o professor produziu, com a ajuda da voluntária, pulsos transversais na mola. Os estudantes ficaram bastante impressionados com os pulsos produzidos e até aplaudiram o professor. Eu percebi na ocasião que os estudantes estavam atentos e aparentemente engajados na atividade.

O professor repetiu a produção de pulsos na mola algumas vezes. Assim, por exemplo, ele colocou objetos distantes da extremidade da mola na qual os pulsos eram produzidos para afirmar que a onda na mola era capaz de transferir energia para esses objetos. Enquanto produzia novos pulsos na mola, o professor chamava a atenção dos estudantes para alguns aspectos do fenômeno que ele reuniu e sintetizou para apresentar uma primeira definição de onda. Em seguida, ele registrou essa definição no quadro.

Continuando esse processo, o professor alternou entre a produção de pulsos longitudinais e transversais para continuar atribuindo mais características ao fenômeno ondulatório. A cada novidade introduzida, ele se dirigia ao quadro para construir,

paulatinamente, um texto sobre as ondas. Com essa estratégia ele apresentou aos estudantes as seguintes ideias:

- 1) uma onda é uma perturbação;
- 2) uma onda transporta energia;
- 3) há ondas transversais e longitudinais;
- 4) uma onda periódica pode ser caracterizada por meio da frequência das oscilações e do comprimento de onda;
- 5) frequência e comprimento de onda estão relacionados inversamente para ondas estabelecidas em um mesmo meio.

Esta estratégia foi usada durante os primeiros 20 minutos da aula. Em seguida, o professor ligou o *datashow* e projetou no quadro o aplicativo *Onda em Corda*<sup>5</sup>.

Inicialmente, ele se preocupou em explicar o significado dos símbolos que compunham as inscrições didáticas presentes na tela do aplicativo e em explorar as possibilidades de configuração da corda nele representada, ao modificar as extremidades utilizadas para submeter a corda a diferentes tensões, ao alterar o tipo de movimento que dá início à propagação de ondas, etc. Nessa fase, o professor estabeleceu vínculos e comparações entre os fenômenos mostrados no aplicativo e aqueles ele havia produzido anteriormente com a mola. Nessa ocasião, ele disse que, graças aos recursos disponíveis no aplicativo, era possível ver alguns detalhes do fenômeno ondulatório que não podiam ser percebidos nas explorações feitas com a mola.

Durante o uso do aplicativo, o professor fez algumas intervenções sobre as imagens projetadas no quadro, registrando com uma caneta para quadro branco aquilo que ele pretendia destacar. Assim, por exemplo, ele mostrou que cada ponto da corda esticada horizontalmente apresentava um movimento vertical quando a onda passava por ele.

Para verificar se os estudantes eram capazes de relacionar os fenômenos apresentados com a mola e o aplicativo, o professor formulou algumas questões. Por exemplo, em um dado momento, ele perguntou se o pulso produzido na simulação era transversal ou

---

<sup>5</sup> Em maio de 2016, a versão desse aplicativo disponível no link [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/wave-on-a-string](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/wave-on-a-string) já apresentava diferenças em relação à versão usada pelo professor na época em que realizamos a pesquisa.

longitudinal. Estas questões apresentadas pelo professor já tinham sido tratadas durante a manipulação da mola.

Nesse segundo momento da aula, o interesse e o aparente engajamento que foram demonstrados pelos estudantes nos primeiros 20 minutos da aula, cederam lugar a conversas paralelas e a perda de interesse por parte de alguns estudantes. Outros, entretanto, continuaram interagindo com o professor, ao fazer várias perguntas sobre o tema e sobre possibilidades de manipulação do aplicativo não exploradas pelo professor.

Quando o professor percebia o distanciamento de alguns estudantes, ele procurava se aproximar deles e lhes dirigia algumas perguntas, tentando recuperar o engajamento na atividade que eles demonstraram no início.

O aplicativo foi usado por, aproximadamente, 20 minutos. Em seguida o professor passou ao terceiro momento da aula constituído pela leitura das seções 1.1, 1.2 e 1.3 do capítulo *As ondas elásticas e a Acústica*, do livro *IMAGENS DA FÍSICA* de Ugo Amaldi e pela apresentação de perguntas sobre o texto, além de exercícios complementares (ANEXO I).

Foram distribuídos livros para os estudantes trabalharem em duplas ou em pequenos grupos. Enquanto os estudantes realizavam a atividade proposta, o professor movimentou-se pela sala de aula, aproximando-se das duplas. Eu atribuí a essa atitude do professor um duplo propósito: esclarecer as dúvidas daqueles que estavam de fato realizando a atividade e pressionar/convidar aqueles que estavam alheios à atividade a se engajarem nela.

Durante o esclarecimento das dúvidas apresentadas pelos estudantes, o professor utilizou muitos gestos para resgatar as ideias desenvolvidas durante a manipulação da mola e do aplicativo.

À medida que os estudantes iam terminando de realizar a leitura e de responder os exercícios propostos nessa fase da aula, eles apresentavam seus cadernos para o professor. Esse registrava os nomes dos estudantes que concluíam a tarefa no diário de classe e os liberava. Assim, a aula foi encerrada.

### 5.2.2. DESCRIÇÃO DO SEGMENTO

Conforme pode ser observado no quadro 13 (p.67), foram identificados três segmentos na aula do dia 07/10/2013. O segmento 2, que é analisado ao longo desta seção 5.1, durou cerca de 20 minutos, começou após a produção de pulsos longitudinais e transversais em uma mola metálica e terminou com o início da atividade de leitura do livro-texto realizada em duplas pelos estudantes. A descrição desse segmento a partir da nossa segunda unidade de análise segue no quadro 17.

**QUADRO 17: Descrição do segmento 2 da primeira aula**

<b>Ação complexa</b>	Produção de ondas no aplicativo <i>Onda em Corda</i> e interpretação das representações nele reunidas.
<b>Propósito</b>	Reprodução de pulsos transversais no aplicativo, que já haviam sido realizados com a mola, para explicitar aspectos do fenômeno que não tinham sido observados em função da velocidade dos movimentos que constituem as ondas.
<b>Ações subsidiárias</b>	1- Interpretação, junto aos estudantes, dos signos que compõem as inscrições didáticas que aparecem na tela do aplicativo. 2- Reprodução de ondas transversais já produzidas com a mola. 3- Produção de rabiscos e sinalizações à caneta sobre imagens em movimento produzidas pelo aplicativo e projetadas pelo <i>Datashow</i> no quadro branco. 4- Apresentação de questões aos estudantes que demandam o estabelecimento de comparações entre as ondas produzidas com a mola e aquelas simuladas pelo aplicativo.
<b>Recursos mediacionais</b>	1- Aplicativo <i>Onda em Corda</i> , modo visual imagens em movimento, modo de comunicação interação com imagens, modo gestual e modo verbal oral. 2- Modo acional (manipulação do aplicativo <i>Onda em Corda</i> ), modo verbal oral e modo gestual. 3- Quadro branco, manipulação do aplicativo e orquestração dos modos gestual, verbal oral, verbal escrito e interação com imagens. 4- Modo verbal oral e os conceitos de direção de vibração e direção de propagação da onda.
<b>Divisão do trabalho entre os agentes</b>	O professor manipula o aplicativo, produz rabiscos e sinalizações sobre as imagens projetadas no quadro e dirige questões aos estudantes. Vários estudantes perdem o interesse no que está sendo apresentado pelo professor que se aproxima de alguns deles lhes dirigindo questões sobre o tema. Outros estudantes, sobretudo aqueles assentados mais próximos do professor, continuam atentos à aula e fazem perguntas sobre o tema.
<b>Cenário</b>	Em termos do cenário descrito no segmento 01, houve as seguintes mudanças: (a) retorno à configuração da sala na qual estudantes permanecem voltados para o quadro e para o professor, porém com carteiras mais próximas umas das outras devido à manutenção do corredor central; (b) dispersão de vários estudantes que deixam de participar da aula e iniciam conversas paralelas parcialmente

	coibidas pelo professor, que usou como estratégia se aproximar desses estudantes e lhes dirigir questões sobre o tema em pauta.
--	---

### 5.2.3. TRANSCRIÇÃO DO SEGMENTO

#### Subsegmento SS1 para o qual atribuímos a intenção retórica de apresentação do aplicativo

No início de SS1, o *datashow* estava ligado e projetava no quadro a tela do aplicativo *Onda em Corda* que será apresentada mais adiante na subseção 5.2.4. O professor estava na frente da sala.

22'45"- Professor: *Vamos continuar agora com a demonstração/ só que/ ao invés de*

{ ~~~~~ }

*usar uma mola real/ a gente vai usar uma mola/ ali na verdade não é uma mola mas é*

~~~~~  1a } {  1a -----  1a ----- }

*uma corda/ virtual tá/ dá pra fazer os mesmos movimentos/ de uma maneira mais*

{ ~~~~~  1b ----- }

*fácil/ sem precisar de balançar muito/ sem precisar de espaço/ né/ pra fazer isso./Essa*

{ -----  1c } {  1b }

*simulação aqui/ é uma daquelas simulações/ lá do Phet/ que a gente já tá usando há*

~~~~~  1d } {  1c ----- }

*algum tempo/desde o começo do ano/ e o que ela tem ali?/É/uma corda/ que na verdade*

----- } {  1e \*\*\*\*\* }

*ela é/ como se fosse um conjunto/é:./ um punhado de bolinhas presas uma na outra/ tá/*

\*\*\*\*\* }

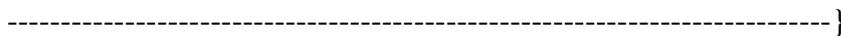
*eu posso aumentar a tensão/ que é a força que eu aplico nelas/ é:./ nesse programa/ eu*

{ ~~~~~  1f } {  1d ----- }

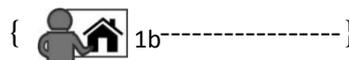
posso fazer ondas e pulsos a vontade/ a primeira coisa é a seguinte/ é::/ vão tirar o



amortecimento/ pra ficar mais fácil/ e vamos colocar ela infinita/ quer dizer/ aí o



tamanho dela é infinito/ e aqui eu posso fazer aqueles pulsos que eu fiz/né (5s)/ que eu



fiz aqui na minha mola/ posso fazer eles ali também/ ou eu posso fazer um pulso fixo/



faço o pulso/ e aumentar a amplitude desse pulso/ se eu quiser/ faço um pulso mais



alto/ faço um pulso menorzinho/ (5s) ou/ o tamanho do pulso/ posso fazer um pulso mais



longo/ ou/ um pulso mais estreitinho.(8s)/ Então/ pra que serve essas bolinhas verdes



que tão aqui? / Aquelas bolinhas (13s)/ ((o professor interrompe sua fala para advertir



estudantes que estão conversando)) aquelas bolinhas verdes/ elas estão ali/ pra/ é::/

pra gente ver o quê que acontece/ essas bolinhas/ que você pode prestar atenção

nelas/ pra ver o quê que acontece/ com o movimento delas no meio/ quando a onda ou



o pulso passa por elas/



### Descrição das ações e gestos



O professor faz um gesto com o dedo indicador estendido realizando um movimento de oscilação e apontando para o local onde havia realizado a demonstração com a mola. Com essa ação ele resgata o experimento realizado no segmento anterior da aula.

|  |   |
|--|---|
|  1a<br> 1a   | <p>O professor aproxima-se do quadro e olha momentaneamente para a imagem projetada nele. Em seguida volta para sua posição inicial de frente para a turma. A combinação da proxêmica com o olhar cumpre uma função dêitica ao indicar para os estudantes a corda virtual a qual o professor se refere.</p>   |
|  1b   | <p>Mantendo o braço junto ao corpo, o professor oscila horizontalmente o antebraço. Com esse gesto, ele esclarece o tipo de movimento ao qual sua fala se refere.</p>   |
|  1c   | <p>O professor estende o braço direito em direção ao corredor onde fora realizado o experimento com a mola. Com essa ação ele chama a atenção dos estudantes para o espaço necessário para realizar o experimento com a mola metálica.</p>  |
|  1b<br> 1d   | <p>Aproxima-se do quadro e aponta para a imagem da simulação projetada nele. A combinação de comportamento proxêmico e gesto dêitico indica para os estudantes a que o professor se refere.</p>   |
|  1c   | <p>O professor afasta-se do quadro e volta para posição inicial, ficando mais próximo da turma. Com esse comportamento proxêmico, o professor chama a atenção da turma para si.</p>   |
|  1e   | <p>Aproxima-se da imagem projetada e, com o indicador direito, percorre várias vezes toda a extensão da corda virtual projetada na tela pelo <i>datashow</i>. Essa ação tem a função de esclarecer qual é a inscrição da tela do aplicativo que corresponde à corda.</p>  |
|  1f  | <p>Aponta para a imagem do botão deslizante que permite variar a tensão na corda virtual e, com as mãos fechadas, colocadas próximas uma da outra, faz um movimento de afastamento das mãos, típico de alguém que tenta arrebentar uma corda. Esse gesto enfatiza o significado do conceito de <i>tensão</i>.</p>   |
|  1d<br> 1a<br> 1a | <p>Desloca-se até a cadeira localizada próxima ao computador, senta-se nela, põe a mão sobre o mouse do computador para alterar as configurações do aplicativo como anuncia em sua fala. A mudança de postura corporal do professor sinaliza que ele vai continuar a interagir com as imagens pelos próximos minutos.</p>   |
|  1g   | <p>Ainda assentado na cadeira em frente ao computador, o professor estende o braço direito em direção ao fundo da sala. Com esse gesto ele tenta esclarecer para os estudantes o significado do termo <i>corda de tamanho infinito</i>.</p>   |
|  1b   | <p>O professor produz pulsos manuais no aplicativo por meio do mouse como anuncia em sua fala.</p>  |
|  1h   | <p>O professor olha para a turma e faz um gesto em que abre horizontalmente os braços mantendo as mãos fechadas como se estivesse segurando uma mola ou uma corda estendida.</p>  |
|  1c   | <p>Todas as ações descritas pelo professor produzem interações com as imagens projetadas na tela por meio da manipulação do mouse. Essas ações apresentam aos estudantes alguns dos recursos oferecidos pelo aplicativo.</p>  |
|  1b<br> 1e<br> 1i | <p>O professor levanta-se e aproxima-se da projeção. Com essa combinação de mudança de postura corporal e comportamento proxêmico ele sinaliza que passará a utilizar seu corpo para interagir com a imagem projetada no quadro. Essa intenção é confirmada por sua próxima ação: coloca o dedo indicador da mão esquerda sobre uma das bolinhas verdes. Esse gesto dêitico indica para os estudantes o local no qual eles devem fixar sua atenção. Em seguida, o professor afasta-se da projeção e volta seu torso para a turma. Com essa nova essa combinação de mudança de postura corporal e comportamento proxêmico, o professor sinaliza que vai explicar a função das bolinhas verdes.</p> |

|  |  |
|--|--|
|  1j | <p>O professor oscila alternadamente as mãos que estão na altura do peito e que se encontram estendidas com as palmas voltadas para baixo. Com essa ação ele reproduz o movimento das bolinhas verdes quando o pulso passa por elas.</p> |
|  1k | <p>Movimenta bruscamente as duas mãos na direção da turma. Com esse gesto o professor reforça a ideia de propagação do pulso ao longo da corda.</p>  |

### Subsegmento SS2 para o qual atribuímos a intenção retórica de caracterização das ondas transversais

No início do subsegmento SS2, o professor estava em pé ao lado do computador e com o corpo voltado para a turma.

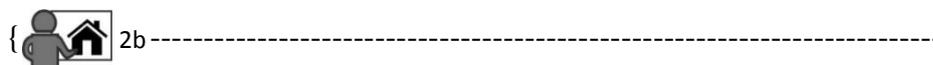
25'54"- Professor: *Vamos pegar essa bolinha que está aqui ó/ vão ver o quê que*



*acontece com ela/ quando o pulso passa por aquele ponto/ né/ é difícil de ver/ né/ [não,*



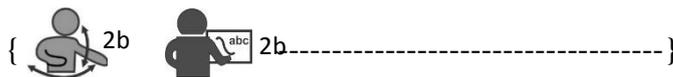
*sobe e desce] mas tem um jeito mais fácil/ se eu/ [slow motion] ir passo a passo (7s)/*



*então vamos ver o quê que acontece/ na hora que esse pulso chega nela/*



*primeira coisa/ ela vem pra cá/ aí depois/ ela sobe mais um pouquinho/*



26'50"- Maria: *Crista, né professor?*

26'57"- Professor: *Crista?*

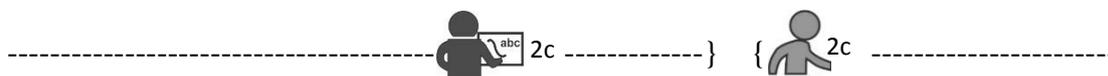


27'02"- Maria: *Ela fica na crista. ((A estudante quer dizer que a bolinha verde movimenta-se para a crista do pulso.))*

27'12"- Professor: *Quê que vai acontecer?/ Dá pra ver o quê acontece com o*



*movimento daquela/ daquele pontinho verde/ lá ó (10s)// Como é que foi o movimento*



daquele pontinho?/ Subiu/ e desceu/ na vertical/ isso aí (15s)/ Esse movimento é

-----  2b ----- }

transversal ou longitudinal?(15s)/ ((A pausa em sua fala sinaliza para os estudantes que ele aguarda uma resposta))

28'15"- Estudantes: [transversal] [longitudinal] ((Os estudantes se manifestam de forma desordenada))

28'26"- Professor: Primeira coisa/ pra saber se é transversal/ ou longitudinal/ tem que

{  2c ----- } {  2d

ver como é que é o movimento do pontinho/ na hora que o pulso passou por ele/ como

~~~~~  2d\* ~~~~~  2d

que era o movimento dele?/ [espera aí, professor, fala de novo] O movimento do

----- }

{  2c -----

pulso/tava nessa direção aqui ó/ e o pontinho/ é:./ o meio/ ele subiu/ e depois desceu./

-----  2e }

{  2e ----- }

Então o movimento do pulso/ do ponto/ na hora que o pulso passou por ele/ ele é

{ ~~~~~ }

perpendicular/ à direção do movimento da onda/ do pulso que passou por ele/ isso é

 2f ----- }

{  2e

típico de uma onda transversal. A mesma coisa acontece (15s)/ Então/ aquela onda é

-----  2f ----- } {  2d  2c ----- }

uma onda transversal/ igual àquela que eu demonstrei aqui/ tá?/ O movimento é

{  2g

perpendicular à direção da onda/ Se eu fizer uma onda aqui/ não é um pulso/ mas é

----- }

{  2h }

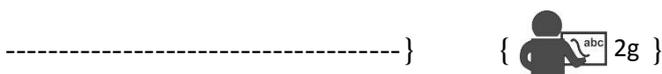
{  2i -----

uma onda contínua/ eu posso fazer isso dessa maneira/ então/ dá pra perceber que de

----- }

{  2d -----  2d -----

*novos/ o movimento ali/ ele sobe/ depois/ ele desce/ vai descendo até embaixo//*



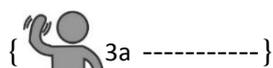
| Descrição das ações e gestos                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  2a<br> 2a     | <p>O professor destampa o pincel, dirige-se ao quadro e marca com o pincel uma das bolinhas verdes as quais ele se referiu oralmente. Com essa ação ele destaca, entre as várias inscrições que aparecem na tela, aquela que deve ser foco da atenção dos estudantes.</p>                                                                                              |
|  2b<br> 2a     | <p>O professor afasta-se do quadro e aproxima-se do computador. Em seguida assenta-se em frente ao computador e passa a olhar para tela. Com essas ações ele indica que vai interagir com a imagem por meio do mouse.</p>                                                                                                                                              |
|  2a<br> 2a     | <p>O professor produz um pulso no aplicativo e olha para a imagem projetada no quadro para reforçar sua fala de que é difícil ver o que aconteceu com a bolinha assinalada.</p>                                                                                                                                                                                        |
|  2b<br> 2a  | <p>O professor avança a imagem passo a passo e fica olhando para a imagem projetada no quadro até o pulso atingir a bolinha verde que ele marcou com o pincel. A ação de ficar olhando para o quadro parece indicar para os estudantes que eles devem também acompanhar o desenrolar do fenômeno.</p>                                                                  |
|  2b<br> 2b | <p>O professor levanta-se, dirige-se ao quadro, marca com o pincel a nova posição da bolinha verde, retorna ao computador para avançar a imagem e em seguida volta ao quadro para, novamente, marcar a posição da bolinha verde.</p>                                                                                                                                   |
|  2b<br> 2a | <p>O professor olha para uma estudante e em seguida aponta para a imagem mostrando o que é a crista. Com essas ações o professor sinaliza que ouviu a dúvida da estudante, porém, limita-se a respondê-la apenas com o gesto dêitico cujo referente é a crista do pulso projetado na tela.</p>                                                                         |
|  2c<br> 2c | <p>O professor aproxima-se do quadro, marca com o pincel as futuras posições que a bolinha verde ocupará até ela atingir a crista do pulso. Em seguida assenta-se novamente na cadeira próxima ao computador, avança passo a passo a propagação do pulso, levanta-se, aproxima-se do quadro e, com o pincel, reforça as posições anteriormente marcadas no quadro.</p> |
|  2c                                                                                           | <p>O professor afasta-se do quadro e volta para a posição em que fica mais próximo dos estudantes. Com esse comportamento proxêmico, ele sinaliza sua intenção de interagir com a turma.</p>                                                                                                                                                                           |
|  2b                                                                                           | <p>O professor faz um gesto movimentando a mão direita para cima e para baixo. Com esse gesto ele reproduz o movimento da bolinha verde do aplicativo.</p>                                                                                                                                                                                                             |
|  2c                                                                                           | <p>Com a palma da mão direita estendida e com o polegar em riste, o professor movimenta essa mão para cima e para baixo e, em seguida, para direita e para a esquerda. Esse gesto faz referência às oscilações transversais e longitudinais, respectivamente.</p>                                                                                                      |

|                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  2d<br> 2d<br> 2d | <p>O professor aproxima-se da projeção e aponta com o indicador esquerdo para o pontinho verde. Em seguida, destampa o pincel e desenha, logo acima da crista projetada no quadro, uma seta horizontal com o sentido de propagação do pulso.</p>                                                                                                                                             |
|  2c<br> 2e                                                                                         | <p>O professor olha para o estudante que solicitou a repetição da explicação e, segurando o pincel estendido na horizontal, desloca-o ligeiramente para a esquerda. Com essa ação, ele reforça o sentido de propagação do pulso, já assinalado pela seta desenhada anteriormente.</p>                                                                                                        |
|  2e                                                                                                                                                                                 | <p>Desenha, sobre os pontinhos assinalados no quadro com o pincel, uma seta para cima e outra para baixo. Com essa ação, o professor destaca a alteração do sentido de movimento do pontinho durante a oscilação da corda provocada pela passagem do pulso.</p>                                                                                                                              |
|  2f                                                                                                                                                                                 | <p>O professor mantém as mãos na altura do peito (a mão esquerda fechada e a direita com o dedo indicador estendido horizontalmente) e realiza o seguinte gesto: movimenta a mão direita para cima e para baixo e, em seguida, para a direita. Com esse gesto o professor tenta esclarecer a sua fala destinada à caracterização de pulsos ou ondas transversais.</p>                        |
|  2e<br> 2f                                                                                        | <p>O professor dirige-se ao quadro e registra o nome transversal sobre a imagem do pulso que está projetada no quadro. Com essas ações ele sinaliza que o conceito de onda transversal é importante.</p>                                                                                                                                                                                     |
|  2d<br> 2c                                                                                     | <p>O professor assenta-se na cadeira próxima ao computador e altera a configuração do aplicativo a fim de produzir pulsos periódicos. Em seguida, congela a imagem, levanta-se da cadeira e volta-se para os estudantes. Com essas ações, o professor parece indicar que iniciará a discussão de um novo tema.</p>                                                                           |
|  2g                                                                                                                                                                               | <p>O professor movimenta para frente a mão direita estendida, indicando a direção de propagação da onda e, ao proferir a palavra “perpendicular”, oscila a mão para a direita e para a esquerda, para mostrar os sentidos da oscilação de regiões da corda atingidas pela onda.</p>                                                                                                          |
|  2h                                                                                                                                                                               | <p>O professor desloca-se em direção ao quadro e aponta para a imagem do oscilador do aplicativo que está projetada no quadro. Com esse gesto dêitico, o professor ressalta a função dessa opção de configuração do aplicativo.</p>                                                                                                                                                          |
|  2i                                                                                                                                                                               | <p>O professor, ao proferir a palavra “pulso”, oscila a mão direita para cima e para baixo uma única vez. Em seguida, ao falar a expressão “onda contínua”, repete o movimento de oscilação da mão direita continuamente enquanto desloca-se para perto do computador. Com esse gesto ele procura esclarecer a diferença entre um único pulso e uma onda periódica (sucessão de pulsos).</p> |
|  2d<br> 2d                                                                                     | <p>O professor avança, passo a passo, a onda produzida no aplicativo e olha para imagem projetada no quadro, enquanto avança essa imagem passo a passo. A ação de olhar para imagem sinaliza para os estudantes que eles também devem acompanhar a propagação da onda.</p>                                                                                                                   |
|  2g                                                                                                                                                                               | <p>O professor desloca-se até o quadro e desenha sobre o pontinho verde da projeção uma seta para baixo. Com essa ação, o professor reforça sua fala a respeito do comportamento do pontinho verde ao ser atingido por uma onda contínua.</p>                                                                                                                                                |

### Subsegmento SS3 para o qual atribuímos a intenção retórica de esclarecimento de dúvidas dos estudantes

No início do SS3, o professor estava em pé na frente da sala e com o corpo voltado para a turma. Ele olhava para os estudantes como se estivesse esperando a manifestação de dúvidas.

31'15"- Cristina: *A direção da onda é pra lá? Ou prá lá? O quê que é direção da*

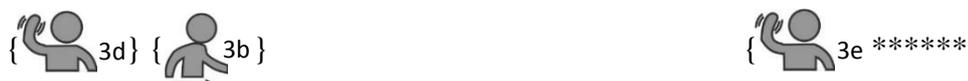


*onda?*

31'20"- Professor: *A direção da onda é prá lá/ e a direção do meio/ [A direção da*



*onda é sempre pra cá?] não/ você tem que ver se a direção do meio é perpendicular à*



*direção da onda/ se a onda tá numa direção/ o meio tem que tá numa direção*

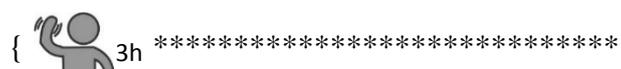
*\*\*\*\*\* ~~~~~*

*perpendicular//*

*-----}*

31'39"- Cristina: *O meio? ((A estudante faz uma expressão facial de dúvida))*

31'40"- Professor: *O meio que eu falo/ é o meio onde a onda tá passando/ o meio tá*



*movimentando/ o movimento do meio/ é pra cima e para baixo/ não na direção da*

*\*\*\*\*\*} {*

*onda//*

*-----}*

32'00"- Francisco: *O comprimento é assim né?*



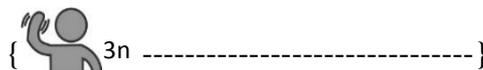
32'05"- Professor: *Comprimento de onda?/Não/ isso é a amplitude.*



32'10"- Francisco: *Professor, a crista é assim né?*



32'15"- Professor: *Crista é o ponto mais alto da onda/ e vale é o mais baixo//*



32'18"- Francisco: *Isso é a metade pro ponto mais alto?*

32'20"- Professor: *Isso é a amplitude.*

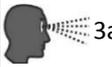
32'24"- Francisco: *Tá. E a crista?*

32'26"- Professor: *Crista é o ponto mais alto.//*



32'30"- Francisco: *É?/ É só o ponto mais alto?/ ((o professor balança a cabeça afirmativamente)) Ah!//*

| Descrição das ações e gestos |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3a                           | A estudante desloca a mão direita horizontalmente para a direita e, em seguida, verticalmente para cima. Com essa ação ela dá significado à sua pergunta: “pra lá? Ou pra lá?”.                                                                                                                                                          |
| 3a<br>3b                     | O professor aproxima-se da imagem projetada no quadro, estende horizontalmente a mão esquerda posicionada próxima da crista da onda e, em seguida, desliza horizontalmente essa mão no sentido de propagação da onda, isto é, para a direita. Com essa ação o professor também dá significado à sua fala: “ A direção da onda é pra lá”. |
| 3c                           | Ainda com a mão esquerda sobre a projeção, o professor movimenta essa mão para cima e para baixo. Esse gesto indica os sentidos e a direção do movimento de um determinado ponto do meio de propagação (a corda virtual) no momento em que a onda atinge esse ponto.                                                                     |
| 3d                           | A estudante desloca a mão direita horizontalmente para a direita. Esse gesto tem a mesma função do gesto 3a.                                                                                                                                                                                                                             |
| 3b                           | O professor afasta-se da projeção enquanto olha para a estudante que fez a pergunta. Com essa ação o professor indica que vai tentar esclarecer a dúvida da estudante.                                                                                                                                                                   |
| 3e                           | O professor segura com a mão esquerda a caneta estendida na horizontal e encosta nela o dedo indicador da mão direita estendido verticalmente. Com esse gesto o professor reforça o significado da palavra <i>perpendicular</i> enunciada por ele.                                                                                       |
| 3f                           | O professor movimenta a caneta para frente e para trás repetidas vezes. Esse gesto reforça as sinalizações anteriores (orais e gestuais) sobre a direção de propagação da onda.                                                                                                                                                          |

|                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  3g                                                                                                                                                                                 | O professor movimenta o dedo indicador para cima e para baixo repetidas vezes. Esse gesto reforça os sentidos de movimento e a direção de oscilação do meio.                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|  3h                                                                                                                                                                                 | Com as duas mãos posicionadas na altura do peito, estendidas horizontalmente e voltadas uma para a outra, o professor faz um gesto deslocando as mãos para cima e para baixo alternadamente. Com esse gesto ele, tanto enfatiza que o meio se movimenta, quanto ressalta a direção vertical do movimento, que é perpendicular à direção da onda.                                                                                            |
|  3c<br> 3i<br> 3j | O professor aproxima-se da projeção. Aponta o dedo indicador da mão esquerda para a seta vertical, que desenhara minutos antes, e o movimenta para cima e para baixo, enfatizando que o movimento do meio é na vertical. Em seguida, o professor desloca o dedo indicador horizontalmente, indicando o sentido de propagação da onda. Com essas ações, ele sinaliza para a estudante os aspectos da simulação destacados em sua explicação. |
|  3k                                                                                                                                                                                 | O estudante movimenta o dedo indicador direito em riste para cima e para baixo. Com esse gesto ele dá sentido à sua pergunta.                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|  3a                                                                                                                                                                                 | O professor olha para o estudante, indicando que ouviu sua dúvida.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|  3l                                                                                                                                                                                 | O professor repete o gesto 3K do estudante.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|  3m                                                                                                                                                                                | O estudante movimenta o dedo indicador direito em riste para direita e para a esquerda. Com esse gesto ele dá sentido à sua pergunta dando a entender que se refere ao comprimento de onda.                                                                                                                                                                                                                                                 |
|  3n                                                                                                                                                                               | O professor movimenta a mão direita para cima e, em seguida, para baixo. Esse gesto reforça os conceitos de crista e vale da onda.                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|  3o                                                                                                                                                                               | O professor movimenta a mão direita para cima, fazendo referência à crista da onda.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

### Subsegmento SS4 para o qual atribuímos a intenção retórica de caracterização das ondas periódicas

No início do SS4, o professor estava em pé na frente da sala e com o corpo voltado para a turma.

32'35"- Professor: *Muito bem!/ Essa onda que apareceu aí agora/ é uma onda/ não é*



*um pulso ondulatório/ né/ mas é uma onda contínua/ eu quero que vocês percebam o*



*seguinte/ quê que tem que acontecer para formar uma onda contínua?/ Dá uma*



olhadinha/ no quê que tá produzindo a onda/



33'07''- José: O negócio tá girando.

33'09''- Professor: Exatamente!// Isso aqui ó/ faz um movimento de/ vai e vem/ esse



movimento/ é que produz a onda/ tá?/ Então/ quê que eu chamo de frequência/ da onda/

\*\*\*\*\* }

nesse caso aí?/



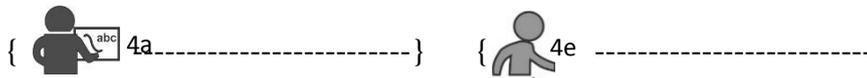
33'30''- Cristina: Depende da bolinha/ da velocidade com que/



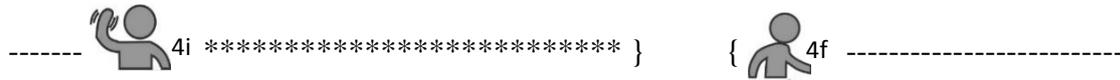
33'36''- Professor: Exatamente!//A frequência tem a ver com esse movimento aqui ó/ a



quantidade de vezes que eu subo e desço/ por segundo// A frequência/ é a quantidade de



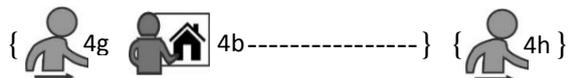
vezes/ que eu tô subindo e descendo/ por segundo/ então isso aqui/ tá relacionado com



a frequência/ número de oscilações por segundo/ o:./ programa aqui/ permite a gente



fazer uma mudança na frequência/ eu posso vir aqui/ e diminuir a frequência/ então/ se



eu diminuir a frequência/ olha lá o quê que aconteceu/ diminuir a frequência/ o



movimento fica mais devagar/ né/ pra cima e pra baixo/ e aumentando a frequência/

\*\*\*\*\* } {  4i  4c ----- }

ele fica mais rápido/ pra cima e pra baixo/ tá?(6s)//

{  4k } {  4j  4d }

Este pontinho aqui ó/ é que é a crista da onda e esse aqui é o vale da onda/ tá?/ o::/ o

{  4c ----- } {  4k

comprimento de onda/ é exatamente a distância/ de uma crista até a outra ou/ de um

----- } {  4d ----- }

vale até o outro (10s)/

----- }

36'18"- Beatriz: Professor/ eu não tô entendendo o quê que tá escrito na esquerda

ali/ na esquerda//

{  4l ----- }

36'23"- Professor: Então/ a distância/ entre uma crista e outra/ é o comprimento de onda/

{  4l  4a  4m ----- }

36'33"- Beatriz: E o quê que é aquilo na esquerda?

36'35"- Professor: Aqui?

{  4n }

36'37"- Beatriz: Não!// Na esquerda/

36'38"- Professor: ((aponta para a definição de frequência e olha para a Beatriz que movimenta a cabeça positivamente))

36'40"- Isabela: Frequência/ número de ondulações por segundo// ((Isabela vira para trás e esclarece a dúvida da Beatriz))

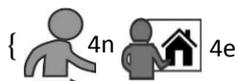
36'42"- Professor: *Então/ a gente costuma chamar o comprimento de onda/ escrever*



*ele/ e/ o símbolo dele o lambda/ que é uma letra grega/ que/ é exatamente a distância/*



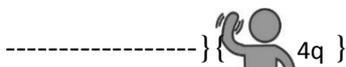
*entre uma crista e outra/ eu posso até colocar uma régua aqui ó/ e medir a distância/*



*entre um ponto e outro/ se eu aumentar a frequência(8s)/ deixa eu diminuir a*



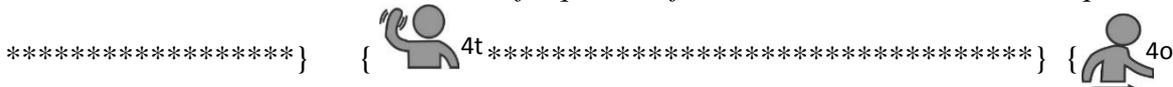
*frequência (30s)/ (30s)/ O quê que eu notei ali?/ Antes eu tava com uma frequência*



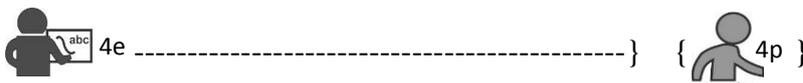
*muito alta/ e o comprimento de onda/ que é a distância entre uma crista e outra/ tava*



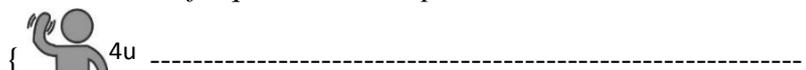
*com um certo tamanho/ aí eu diminuí a frequência/ ficou mais lento o movimento/ quê*



*que aconteceu com o comprimento de onda?(15s)/ Então/ é::/ quê acontece quando eu*



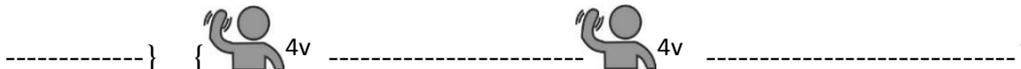
*diminuí a frequência?/ Eu diminuí a frequência/ o comprimento de onda aumentou/*



*Então/ frequência e o comprimento da onda estão relacionados/ quanto maior a*



*frequência/ mais perto tá uma crista da outra/ menor é o comprimento de onda/ quanto*



*maior a frequência/ maior vai ser/ é::/ menor vai ser o comprimento de onda/*



*frequência alta/ comprimento de onda pequenininho/ e frequência baixa/ comprimento*



*de onda grandão (33s)/ Muito bem gente/ essa simulação/ ela serve para mostrar as*



*mesmas coisas que gente mostrou aqui/ de uma maneira mais fácil/ não mais fácil/ mas*



*de uma maneira que você pode controlar melhor/tá?/ Uma coisa que/ que eu*

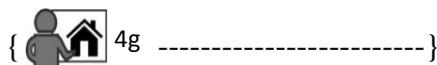
*posso fazer nesse programa/ que aqui a gente não consegue fazer/ é que aqui eu posso*



*retirar o atrito/ tirar o amortecimento/ se eu tirar o atrito/ a onda se propaga/ pra*

-----}

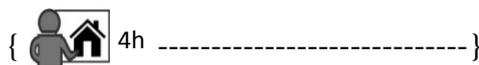
*sempre/ se eu colocar o amortecimento/ o quê acontece é que a amplitude da onda/ vai*



*diminuindo/ à medida que o atrito vai/ retirando energia da onda/ vai chegar um*

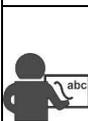


*ponto/ que a onda fica tão pequenininha/ que eu nem vou mais ver a onda//*



| Descrição das ações e gestos |                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4a                           | Aponta para a imagem projetada no quadro a qual exhibe uma onda contínua. Com esse gesto, o professor sinaliza que a onda contínua é o foco da discussão que ele acabara de iniciar.                                                                               |
| 4b                           | O professor oscila verticalmente a mão direita uma única vez. Com esse gesto faz referência à forma de produção de um pulso ondulatório.                                                                                                                           |
| 4c                           | Com a mão direita, o professor desenha no ar o perfil de uma onda transversal. A combinação desse gesto com o anterior reforça a diferença entre um pulso e uma onda contínua.                                                                                     |
| 4a<br>4d                     | O professor aproxima-se do quadro e aponta para a imagem do oscilador do aplicativo que está projetada no quadro. Com essa combinação de comportamento proxêmico e gesto dêitico, ele indica para os estudantes o local para onde eles devem voltar suas atenções. |

|                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  4b<br> 4a     | <p>O professor aproxima-se do computador, manipula o mouse e avança a imagem que estava congelada. Com esse conjunto de ações, ele faz com que o oscilador, anteriormente parado, passasse a se movimentar e a produzir a onda periódica.</p>                                              |
|  4c<br> 4e     | <p>O professor aproxima-se do quadro e aponta para o oscilador em movimento que está projetado no quadro. Com essa combinação de comportamento próximo e gesto dêitico ele tenta ajudar os estudantes a perceber o movimento do oscilador, que já havia sido percebido pelo estudante.</p> |
|  4f                                                                                             | <p>Com o dedo indicador da mão direita apontado para a turma, o professor oscila o braço direito para cima e para baixo, reproduzindo o movimento do oscilador do aplicativo.</p>                                                                                                          |
|  4a                                                                                             | <p>O professor olha para vários estudantes em diferentes posições da sala enquanto se mantém em silêncio, como se aguardasse alguma resposta da turma.</p>                                                                                                                                 |
|  4g                                                                                             | <p>A estudante faz um gesto oscilando a mão direita para cima e para baixo. Com esse gesto, ela reforça o sentido à sua fala.</p>                                                                                                                                                          |
|  4d<br> 4h     | <p>O professor aproxima-se da imagem projetada e, com o dedo indicador sobre o oscilador, acompanha o seu movimento de rotação. Essa ação chama a atenção dos estudantes para a fonte das oscilações quem dá origem à onda periódica.</p>                                                  |
|  4a                                                                                            | <p>Com o pincel, o professor desenha uma seta vertical curva ao lado do oscilador, semelhante à seta indicativa de retorno usada em placas de trânsito, para enfatizar o movimento de sobe e desce descrito por ele.</p>                                                                   |
|  4e<br> 4i | <p>O professor afasta-se do quadro, volta-se para a turma e oscila verticalmente o braço direito, enquanto verbaliza novamente o conceito de frequência.</p>                                                                                                                               |
|  4f<br> 4b | <p>O professor aproxima-se do quadro e escreve a definição de frequência acima da seta curva desenhada anteriormente. Com essa ação, ele sinaliza para os estudantes que essa é uma importante definição.</p>                                                                              |
|  4g<br> 4b | <p>O professor aproxima-se do computador e utiliza o mouse para alterar a frequência da onda produzida pelo aplicativo da maneira verbalizada em sua fala.</p>                                                                                                                             |
|  4h                                                                                           | <p>O professor afasta-se do computador e aproxima-se da turma. Com esse comportamento proxêmico, ele sinaliza que vai interagir com os estudantes.</p>                                                                                                                                     |
|  4j                                                                                           | <p>O professor oscila verticalmente o braço direito praticamente com a mesma frequência da onda produzida pelo aplicativo e projetada no quadro. Com esse gesto ele reforça o movimento cuja caracterização se faz pela medida da frequência.</p>                                          |
|  4i<br> 4c | <p>O professor aproxima-se do computador, aumenta a frequência da onda produzida pelo aplicativo. Em seguida, ele afasta do computador e volta a interagir com a turma.</p>                                                                                                                |

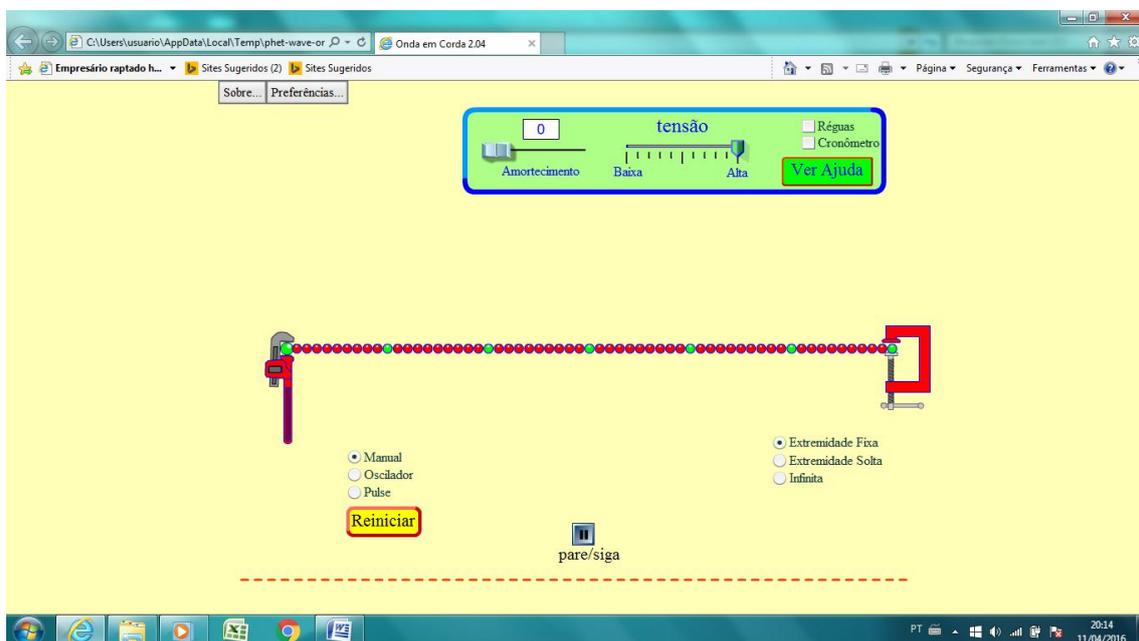
|                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  4k                                                                                                                                                                                       | O professor oscila verticalmente o braço direito com uma frequência maior que a do gesto 4j.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <br> 4j<br>4d                                                                                            | O professor aproxima-se do computador, congela a imagem da onda contínua e, em seguida, desloca-se até o quadro onde está projetada a imagem. Com essas ações ele sinaliza para os estudantes que vai interagir com a imagem.                                                                                                                                                                                                                                                              |
|  4c                                                                                                                                                                                       | Com a caneta, o professor marca um pontinho na imagem projetada e escreve a palavra <i>crista</i> acima dele. Em seguida, marca outro pontinho, localizado no vale da onda, e escreve a palavra <i>vale</i> abaixo dele. O registro dessas palavras no quadro indicam para os estudantes que elas se referem a conceitos importantes.                                                                                                                                                      |
|  4k                                                                                                                                                                                       | O professor afasta-se do quadro, volta-se para turma e, em seguida, destampa a caneta e aproxima-se novamente do quadro. Com essas ações ele sinaliza para os estudantes que fará um novo registro na imagem projetada.                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|  4d                                                                                                                                                                                       | O professor marca com a caneta a distância entre duas cristas e acrescenta a letra $\lambda$ . Faz o mesmo para a distância entre dois vales. Em seguida, escreve, ao lado da distância assinalada, a letra $\lambda$ e descreve oralmente seu significado, isto é, associa a letra ao comprimento de onda. Mais uma vez, o registro dessas informações no quadro indica aos estudantes que elas são importantes.                                                                          |
|  4l                                                                                                                                                                                      | A estudante aponta para o quadro com a caneta. Com esse gesto dêitico, a estudante tenta indicar qual é o local da imagem projetada que deu origem a sua dúvida.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|  4l<br> 4a<br> 4m | O professor aproxima-se da estudante para ouvir sua pergunta. Em seguida, desloca-se até o quadro e, olhando para a estudante, para verificar sua reação, aponta com o indicador da mão direita para a distância entre duas cristas e depois para a letra grega de $\lambda$ . Com esse conjunto de ações, o professor mostra quais são os conceitos que ele está explicando.                                                                                                              |
|  4n                                                                                                                                                                                     | O professor aponta para a palavra <i>crista</i> que está registrada no quadro imediatamente à esquerda da letra $\lambda$ .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|  4m                                                                                                                                                                                     | O professor afasta-se do quadro e volta-se para a turma. Com esse comportamento proxêmico ele sinaliza sua intenção de interagir com os estudantes.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|  4o                                                                                                                                                                                     | O professor desenha a letra grega <i>lâmbda</i> no ar. Com esse gesto o professor não precisa se dirigir ao quadro para apontar a letra <i>lâmbda</i> que lá está registrada.                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|  4p                                                                                                                                                                                     | O professor levanta as duas mãos abertas com as palmas voltadas uma para outra e as mantém a certa distância uma da outra.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|  4n<br> 4e                                                                                           | O professor aproxima-se do computador e passa a interagir com a imagem por meio do mouse. Ele inclui réguas na simulação e posiciona a régua horizontal de tal modo que o seu zero coincida com uma das cristas da onda e com a marcação de comprimento de onda que estava registrada com pincel no quadro.                                                                                                                                                                                |
|  4f                                                                                                                                                                                     | O professor aumenta a frequência da onda produzida no aplicativo, como anuncia verbalmente, mas, em seguida, altera a configuração para baixa frequência, congela a imagem e a avança passo a passo até a crista coincidir com o zero da régua. Após realizar essas ações, o professor afasta-se do computador, vai ao quadro apagar alguns registros em pincel que estão sobrepostos à imagem, e volta-se para a turma, sinalizando com isso sua intenção de interagir com os estudantes. |

|                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  4q                                                                                             | O professor permanece parado na frente da sala com o braço direito estendido horizontalmente e estalando os dedos. Com esse gesto, ele chama a atenção da turma, que está dispersa, e sinaliza sua intenção de prosseguir com a explicação.             |
|  4r                                                                                             | O professor oscila rápida e verticalmente a mão direita para cima e para baixo. Com esse gesto, ele remete os estudantes ao conceito de frequência.                                                                                                     |
|  4s                                                                                             | O professor levanta as duas mãos abertas com as palmas orientadas verticalmente e voltadas uma para outra. Ele as mantém a certa distância uma da outra ao mencionar oralmente que o comprimento de onda é a distância entre cristas consecutivas.      |
|  4t                                                                                             | O professor passa a oscilar verticalmente a mão direita mais lentamente do que no gesto 4r. Esse gesto retira a ideia de redução da frequência que ele apresenta oralmente e que coincide com a mudança de configuração que ele produziu no aplicativo. |
|  4o<br> 4e     | O professor dirige-se ao quadro e marca, com o pincel, sobre a imagem projetada, o novo comprimento de onda. Com essa ação o professor responde a indagação que acabara de fazer.                                                                       |
|  4p                                                                                             | O professor afasta-se do quadro e volta-se para a turma. Com essa combinação de comportamento proxêmico e mudança de postura corporal ele sinaliza que vai interagir com os estudantes.                                                                 |
|  4u                                                                                            | Com os braços abertos, o professor aproxima as mãos, indicando que a frequência diminuiu, e, em seguida, afasta as mãos abrindo novamente os braços. Com esse último gesto, ele indica que o comprimento de onda aumentou.                              |
|  4v                                                                                           | O professor aproxima horizontalmente as mãos que estavam abertas com as palmas voltadas uma para outra e mantidas a certa distância. Com esse gesto, ele faz referência à diminuição do comprimento de onda.                                            |
|  4w                                                                                           | O professor abre os braços horizontalmente, fazendo referência à frequência e, equivocadamente, repete o mesmo gesto ao referir-se ao comprimento de onda.                                                                                              |
|  4x                                                                                           | O professor abre muito os braços horizontalmente, fazendo referência ao aumento do comprimento de onda.                                                                                                                                                 |
|  4y                                                                                           | Com o dedo indicador direito, o professor aponta para o corredor central. Com esse gesto ele faz referência à experiência com a mola que fora realizada no início da aula.                                                                              |
|  4q<br> 4z | O professor aproxima-se da imagem projetada no quadro, coloca o dedo indicador direito sobre o cursor que permite variar o amortecimento e, em seguida, aproxima-se do computador.                                                                      |
|  4g                                                                                           | Com o mouse, o professor altera as configurações de amortecimento da onda. Com essa ação ele ilustra o efeito do amortecimento sobre a propagação da onda.                                                                                              |
|  4α                                                                                           | Com o corpo voltado para a turma, o professor aproxima do corpo a mão direita que estava estendida. Esse gesto faz referência à ação do atrito de retirar energia da onda.                                                                              |
|  4h                                                                                           | O professor aproxima-se da projeção e com a mão direita estendida acompanha a propagação da onda, ressaltando a redução da amplitude à medida que ela se propaga.                                                                                       |

#### 5.2.4. AS INSCRIÇÕES DIDÁTICAS QUE COMPÕEM O APLICATIVO

O aplicativo usado pelo professor nos segmentos das aulas analisados neste capítulo permite observar uma corda vibrando, tanto em câmera lenta, quanto em velocidade normal, além do recurso do congelamento da imagem a qualquer momento. Os pulsos podem ser produzidos manualmente mediante a movimentação do mouse ou por meio de um oscilador acionado por um clique no mouse. Pode-se alterar tanto a amplitude, quanto o tamanho dos pulsos, assim como, o amortecimento e a tensão aplicada à corda. Além disso, a extremidade da corda pode ser fixa, solta ou infinita (isto é, estar além do campo de visão proporcionado pela tela projetada pelo aplicativo). A figura 6 mostra as funções que permitem acionar esses vários recursos na tela do aplicativo. A mesma figura será usada para ilustrar, nos próximos parágrafos, algumas características das inscrições didáticas criadas pelos designers. Tais características, juntamente com a análise das transcrições, nos auxiliarão a compreender as potencialidades e limitações que eu atribuo a esse ambiente virtual.

**FIGURA 6: Captura de tela do aplicativo *Onda em Corda* com a configuração padrão**



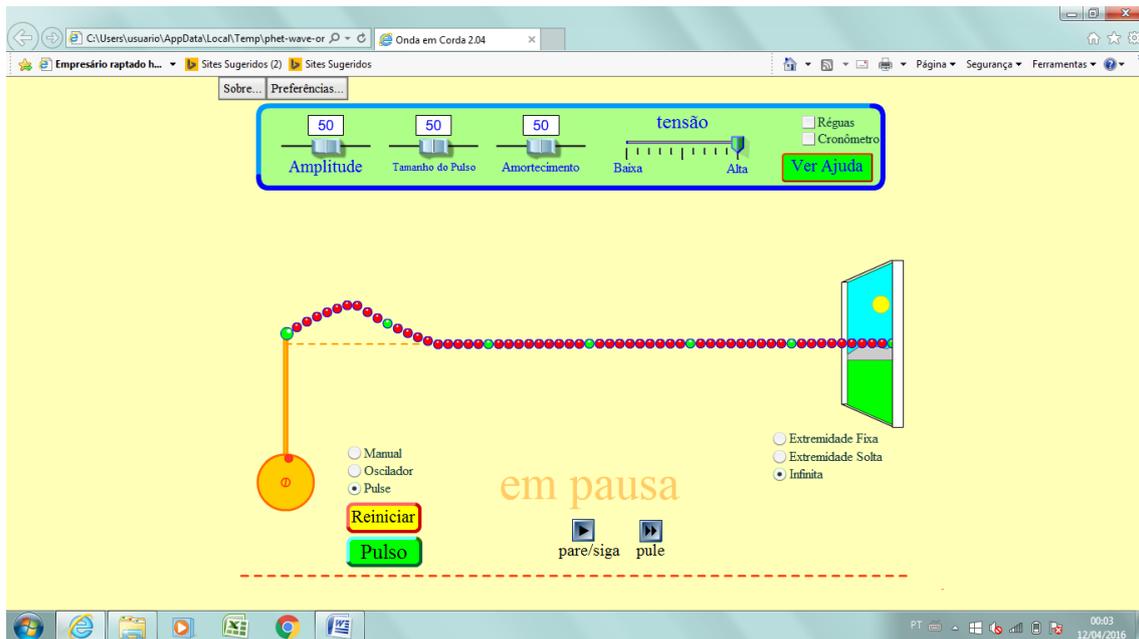
Observamos na tela a presença simultânea de elementos icônicos e esquemáticos compondo o que Roth et al. (2005) chamam de inscrições em camadas. Os elementos icônicos são aqueles que apresentam semelhanças com os objetos que eles representam, tais como o desenho da chave inglesa e da ferramenta tipo sargento situadas nas extremidades da corda na qual as ondas se propagam. Elementos esquemáticos

representam um objeto de forma simplificada sem nuances ou detalhes. As bolinhas alinhadas na figura 6 são uma representação esquemática de uma corda. Roth et al. usam a denominação *inscrições em camada* para descrever representações produzidas a partir da sobreposição de elementos icônicos, esquemáticos ou elementos mais abstratos. Os elementos icônicos e esquemáticos normalmente têm referentes no mundo vivido, isto é, no mundo dos objetos e eventos. Os elementos mais abstratos têm referentes no mundo concebido, ou seja, no mundo das teorias e conceitos. Os conceitos de amplitude, amortecimento e tensão, que podem ter seus valores alterados no aplicativo, pertencem a esse mundo. O comportamento de ondas periódicas e pulsos simulados no aplicativo segue um conjunto de equações matemáticas que também pertence ao mundo das teorias e conceitos. Tais equações integram a programação do aplicativo desenvolvido na linguagem Java<sup>®</sup>.

Na parte inferior da tela, há comandos que permitem configurar a forma de produção dos pulsos (manual, oscilador e pulse), bem como o tipo de extremidade da corda (extremidade fixa, extremidade solta ou infinita).

A figura 7 mostra a tela do aplicativo quando as opções *pulse* e *extremidade infinita* são selecionadas. Nessa nova configuração, a chave inglesa é substituída por uma alavanca ligada a um motor (representados na tela por uma haste e um círculo amarelos interligados). Quando o motor é acionado, o círculo amarelo começa a girar e um ou mais pulsos ondulatórios são produzidos. Nessa situação pode-se observar uma linha tracejada laranja que indica a posição de equilíbrio da corda. No lugar da ferramenta tipo sargento aparece uma janela aberta que tem dois referentes. Um deles está situado no mundo vivido e sugere, como já dissemos, que a extremidade da corda está fora do campo de visão. O outro está associado ao mundo concebido já que a janela é verbalmente associada à expressão *extremidade infinita* que é utilizada na tela para descrever a configuração do aplicativo na qual a janela aparece.

**FIGURA 7: Captura de tela do aplicativo *Onda em Corda* com as configurações definidas pelo professor no segmento 2 da aula do dia 07/10/2013**



Na parte superior da tela encontram-se botões deslizantes que permitem alterar algumas características dos pulsos ondulatórios (amplitude e tamanho) ou das condições às quais a corda está submetida (tensão e amortecimento). Há duas opções que possibilitam a inserção de réguas e cronômetros para a realização de medidas. Há, ainda, teclas, localizadas na parte inferior e ao centro, que permitem: (i) congelar a imagem ou permitir seu prosseguimento (pare/siga); (ii) avançar as imagens passo a passo (pule) para mostrar a propagação dos pulsos em câmera lenta. Por fim, existe uma tecla amarela e outra verde. Na amarela há inscrita a palavra reiniciar. Essa tecla tem a função de retornar a corda para a posição de equilíbrio. A tecla verde permite a produção de pulsos individuais.

### 5.2.5. POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES DO APLICATIVO E FUNÇÕES DOS MODOS DE COMUNICAÇÃO USADOS NO SEGMENTO

As potencialidades e limitações de simulações e laboratórios virtuais dependem de suas características, tanto quanto dos significados ideacionais, interpessoais e textuais que os professores pretendem negociar com os estudantes durante as interações em sala de aula. Essa afirmação decorre do conceito de especialização funcional da Teoria Multimodal da Semiótica Social.

De acordo com nossa análise, do ponto de vista ideacional, o segmento em questão foi orientado para o compartilhamento das seguintes ideias: (i) diferenciação entre direção de propagação e direção de oscilação do meio no qual um pulso se propaga; (ii) apresentação dos conceitos de crista, vale, amplitude, velocidade, frequência e comprimento de onda para a caracterização de uma onda; (iii) apresentação da relação entre velocidade, frequência e comprimento de onda; (iv) explicitação do efeito do amortecimento na propagação da onda.

Do ponto de vista interpessoal, o segmento foi marcado por poucas interações diretas entre o professor e os estudantes. Coube ao professor o papel de enunciador principal na condição de responsável por introduzir os conceitos relacionados ao tema em discussão. O professor procurou explicar as funções dos vários comandos que apareciam na tela do aplicativo, bem como os efeitos desses comandos nos fenômenos nele representados.

Do ponto de vista textual, o segmento foi iniciado fala do professor esclarecendo que iria dar continuidade ao estudo das ondas iniciado com a manipulação da mola metálica por meio da manipulação de uma corda virtual. O término do segmento ocorreu imediatamente antes do anúncio, pelo professor, do início da atividade de leitura do livro didático. Esse anúncio foi acompanhado da distribuição de um roteiro impresso aos estudantes.

No que diz respeito à estruturação do segmento percebemos que o professor o dividiu em três momentos. Inicialmente, ele fez uma rápida exploração do aplicativo mediante a apresentação das funções dos comandos que aparecem na tela e do significado das representações que compõem as inscrições didáticas associadas às diversas configurações possíveis. Em seguida, no subsegmento SS2, ele retomou a discussão sobre os aspectos a serem observados para classificar um pulso como transversal. Tais aspectos tinham sido apresentados na ocasião do experimento com a mola metálica. O professor mostrou para os estudantes como esses aspectos podem ser visualizados no aplicativo. Finalmente, no terceiro momento, que está reproduzido no subsegmento SS4, o professor se dedicou à discussão dos conceitos de frequência e comprimento de onda e da relação entre eles. Dessa vez ele produziu uma onda periódica ao invés de pulsos individuais.

Entre o segundo e o terceiro momentos, os estudantes apresentaram algumas dúvidas, transcritas em SS3, a partir das quais o professor apresentou algumas grandezas que caracterizam uma onda transversal: crista, vale e amplitude. Esse segmento é coerente com o anterior, no qual o professor manipulou a mola metálica, bem como com o seguinte, no qual os estudantes fizeram uma atividade de leitura do livro didático.

Como pode ser visto no início do subsegmento SS1 e no final do SS4, o professor iniciou e encerrou seu discurso com justificativas para o uso do aplicativo que remetem às potencialidades que ele atribuiu a esse recurso. Em SS1, ele afirmou que com o aplicativo era possível realizar “*os mesmos movimentos (feitos com a mola metálica) de uma maneira mais fácil, sem precisar de balançar muito e sem precisar de espaço pra fazer isso*”. Esse argumento provavelmente decorre do fato de que os experimentos virtuais não demandam o uso dos artefatos necessários à realização dos experimentos reais, cuja preparação, ajuste, manipulação, conservação, entre outros, implicam mais tempo de trabalho do professor.

Em SS4, o professor repetiu esse argumento ao dizer que “*ela (a simulação) serve para mostrar as mesmas coisas que gente mostrou aqui (com a mola), de uma maneira mais fácil*” e acrescentou “*de uma maneira que você pode controlar melhor*”. No finalzinho de SS4 ele enfatizou para os estudantes a possibilidade de estudar, por meio do aplicativo a propagação da onda livre do atrito que havia provocado o amortecimento de ondas geradas na mola metálica.

A facilidade oferecida pelo aplicativo para o controle das variáveis de um fenômeno certamente não está disponível na realização de experimentos com objetos reais. Apesar de o professor afirmar que o aplicativo permite reproduzir os mesmos experimentos feitos com a mola metálica, há que se destacar que ele tem limitações como todo recurso mediacional. Em relação às limitações do aplicativo, sublinho o fato dele não possibilitar a representação de pulsos longitudinais. É importante diferenciar pulsos transversais e longitudinais e identificar suas semelhanças e diferenças para compreender a ondulatória. Na medida em que o aplicativo não possibilita a comparação entre esses dois tipos de pulsos ondulatórios, considero que essa é uma das suas limitações, sobretudo porque tal comparação era um dos objetivos do professor.

### 5.2.6. ORQUESTRAÇÃO DOS MODOS DE COMUNICAÇÃO NO SEGMENTO

Retomando a análise das características textuais do segmento julgamos importante destacar a boa orquestração entre fala, gestos e vários tipos de ações expressivas do professor. A comunicação multimodal se manteve intensa ao longo de todo o segmento e foi marcada pela frequente interação com imagens e pelo uso recorrente de gestos. O comportamento proxêmico do professor, caracterizado principalmente por sua movimentação entre o computador e a imagem projetada no quadro, foi, inicialmente, pouco expressivo se comparado à realização de gestos ou à interação com imagens. Todavia, ele sofreu um nítido incremento no subsegmento SS4. Nessa fase, o professor se movimentou entre o computador e o quadro, mas também se dirigiu várias vezes à turma, ora interagindo com algum estudante em particular, ora voltando-se para demandar a participação de toda a turma. O comportamento proxêmico, as mudanças de postura corporal e de direção do olhar comunicaram aos estudantes com quem ou com o quê o professor estava interagindo e para onde ele estava dirigindo sua atenção em cada momento.

A interação com imagens ocorreu tanto por meio da manipulação do mouse como por meio de intervenções nas imagens projetadas no quadro. Essas intervenções foram realizadas através da sobreposição de novas inscrições e rabiscos com o pincel nas imagens projetadas ou por meio de gestos cujos referentes eram representações presentes nas imagens ou inscrições. Em SS1, a interação com imagens 1b ilustra a ênfase nos procedimentos de uso do aplicativo. O professor descreveu verbalmente várias alterações que poderiam ser realizadas nas configurações do aplicativo, ao mesmo tempo em que executou cada uma das alterações por meio da manipulação do mouse.

A orquestração entre o modo verbal e o modo interação com imagens buscou explicitar para os estudantes os efeitos produzidos pelas diferentes configurações descritas pelo professor nas inscrições que apareciam na tela do aplicativo. Em SS2, o professor interagiu inúmeras vezes com as imagens por meio de inscrições que ele acrescentou com o pincel àquelas projetadas no quadro. Essa forma de interagir com as imagens cumpriu diferentes funções. O modo inscrição no quadro 2a, por exemplo, cumpriu uma função dêitica, pois foi utilizado para indicar aos estudantes que sua atenção deveria se concentrar no movimento de uma das bolinhas verdes. Já as inscrições no quadro

codificadas como 2b e 2c foram feitas, respectivamente, para reconstruir ou antecipar o movimento da bolinha sob o efeito da onda. Por sua vez, as inscrições no quadro 2d e 2e registraram as direções dos movimentos descritos verbalmente pelo professor. A estabilidade no tempo das inscrições feitas no quadro permite que os estudantes recuperem, a qualquer momento, a ideia expressa pelo professor através do modo verbal oral.

Em relação à interação com imagens por meio da gesticulação, verificamos uma predominância de gestos dêiticos e de gestos representacionais de ação. Cumprem função dêitica, por exemplo, os gestos 1e, 1i, 2a, 2d, 2h, 4d, 4e, 4m e 4z. Já os gestos 3b e 3c reproduzem, respectivamente, o movimento de propagação do pulso e o movimento de oscilação da corda. Por essa razão, eles são gestos representacionais de ação, assim como os gestos 3i e 3j.

Os gestos representacionais de ação foram empregados em outras situações além daquelas relacionadas à interação com imagens. Em SS3, a fim de esclarecer a dúvida apresentada por uma estudante, o professor usou diversos gestos com essa função para diferenciar os movimentos de oscilação do meio e de propagação do pulso. Logo no início, ele combinou os gestos 3e, 3f e 3g que combinavam as funções representacionais de modelagem e de ação. No gesto 3e, o professor segurou a caneta na horizontal e manteve encostado nela o dedo indicador estendido verticalmente. Com esse gesto de modelagem, cujo golpe coincidiu com a enunciação da palavra perpendicular, ele reproduziu o ícone de ângulo reto. Depois de sustentar esse gesto por alguns segundos, o professor deu continuidade à unidade gestual produzindo os gestos de ação 3f e 3g. Ele movimentou a caneta horizontalmente para frente e para trás e, em seguida, moveu o dedo indicador para cima e para baixo, encerrando, assim, a unidade gestual. Os referentes dos gestos 3f e 3g eram, respectivamente, a direção de propagação do pulso e a direção de oscilação do meio no qual o pulso se propagava. Nessa unidade gestual, a fase de preparação dos gestos 3f e 3g é realizada pelo gesto 3e. Em outro momento de SS3, o professor produziu o gesto de ação 3h para enfatizar que o meio, no caso a corda, se movimenta verticalmente quando o pulso se propaga nela.

Ainda em relação à gesticulação empreendida pelo professor, identificamos situações nas quais o gesto é usado de forma redundante ao modo verbal e outras em que o gesto é orquestrado com o modo verbal para conferir significado à ideia que o professor

pretende comunicar. Como exemplo da primeira situação, podemos citar o gesto 2b. Nesse gesto o professor movimentou a mão direita para cima e para baixo para reproduzir o movimento de um ponto da corda mostrada na tela do aplicativo. O golpe do gesto coincidiu com a enunciação do verbo subiu. A redundância entre a fala e o gesto é um recurso retórico por meio do qual o professor enfatiza a ideia de que os pontos da corda deslocam-se verticalmente quando ela oscila. Um exemplo do segundo caso é encontrado no gesto 3b. Esse gesto tem como referente o sentido de propagação do pulso. Sem o modo gestual, a fala do professor “A direção da onda é pra lá” não produziria o efeito esperado, qual seja: especificar o sentido de propagação do pulso na corda.

Finalmente, em SS4, eu identifiquei uma associação recorrente entre um mesmo tipo de gesto de ação e um mesmo conceito. Todas as vezes que o professor se referiu verbalmente ao conceito de frequência ele o fez um gesto de ação no qual ele oscilava o braço direito verticalmente. No gesto 4j ele oscilou o braço praticamente com a mesma frequência da onda que era produzida pelo aplicativo naquele momento. Em 4k, referindo-se ao aumento da frequência, ele oscilou o braço com maior frequência do que em 4j. O mesmo pode ser observado nos gestos 4r e 4t. Ao empregar os mesmos gestos com os mesmos referentes, o professor reforçou certos significados ideacionais desse segmento com seu discurso.

### **5.3. SEGMENTO 1 DA AULA DO DIA 21/10/2013**

#### **5.3.1. DESCRIÇÃO DA AULA**

O professor levou cerca de 3 minutos para ajustar o aplicativo que seria usado durante a aula. Após os ajustes, ele iniciou a aula informando para os estudantes que, primeiramente, ele discutiria as questões do *Para Casa* e, em seguida, apresentaria um novo tema: a ressonância.

O Para Casa, que havia sido solicitado na aula anterior via e-mail, consistia na realização das atividades 1 e 2 do *e-book Atividades em um laboratório virtual de ondulatória* (ANEXO II). Para realizar tais atividades, os estudantes deveriam explorar o aplicativo *Onda em Corda*, o mesmo usado pelo professor na primeira aula da sequência.

Ao discutir o *Para Casa*, o professor escolheu algumas questões propostas nas atividades do *e-book* e utilizou o aplicativo para respondê-las em um computador ligado a um *Datashow*. Nessa primeira fase da aula, o professor explicou novamente a função dos comandos e o significado de algumas inscrições que nelas apareciam. As questões exploradas foram registradas na lousa. Na primeira atividade do *e-book* são propostas as seguintes questões: i) A tensão altera a velocidade da onda? ii) A amplitude altera a velocidade da onda? iii) A frequência altera a velocidade da onda?

Na retomada dessa primeira parte do *Para Casa* nós atribuímos ao professor a intenção de mostrar aos estudantes que a velocidade de propagação da onda depende apenas de características do meio em que a onda se propaga. Durante a exploração das questões (i) a (iii) reproduzidas acima, um estudante interagiu bastante com o professor e fez várias perguntas que contribuíram para o desenvolvimento da aula e anteciparam algumas ideias cuja explicitação, aparentemente, já fazia parte do planejamento do professor.

Ao comentar a atividade 2 do *e-book*, o professor explorou o conceito de fase, a fim de apresentar uma nova definição para conceito de comprimento de onda, complementar àquela já apresentada na primeira aula da sequência de ensino durante a qual o valor de  $\lambda$  foi apresentado como sendo a distância entre duas cristas ou dois vales consecutivos. Por meio de intervenções nas telas projetadas pelo *Datashow* sobre o quadro branco, o professor mostrou que o comprimento de onda também é a distância percorrida pela onda durante o período das oscilações. A partir dessa última definição, ele obteve a expressão que relaciona o comprimento de onda, a velocidade e a frequência de uma onda periódica ( $v = \lambda \cdot f$ ). Todas as informações e ideias apresentadas nessa fase da aula foram registradas no quadro branco ao lado da região utilizada para a projeção das telas do aplicativo. O mesmo estudante responsável por fazer várias perguntas participou com perguntas e comentários das ações do professor que deram origem aos registros de informações e ideias no quadro. Outros estudantes assentados nas primeiras carteiras também participaram desse processo. Nesse momento, por meio de perguntas, o professor, em alguns momentos, solicitou a participação de estudantes do “fundão”.

A discussão do *Para Casa* durou aproximadamente 25 minutos. O professor encerrou essa fase da aula fazendo uma sondagem do número de estudantes que haviam feito o *Para Casa*.

O início da discussão do fenômeno da ressonância foi marcado pela distribuição de uma folha com nove questões sobre esse fenômeno que deveriam ser respondidas à medida que o professor manipulava alguns aparatos experimentais ou exibia um vídeo sobre o colapso da ponte de Tacoma. A distribuição dos roteiros, a preparação dos experimentos e do vídeo que seria exibido em seguida durou, aproximadamente, 5 minutos. Depois disso, ele solicitou para um dos estudantes a leitura da folha. Essa atividade está reproduzida no ANEXO III.

Para estabelecer uma correspondência entre comprimento e o período de oscilação dos pêndulos, o professor usou uma montagem experimental composta por três pêndulos amarrados em uma haste horizontal fixa: dois mais longos e de mesmo comprimento e outro mais curto. Por várias vezes, o estudante que fez várias perguntas no primeiro momento da aula colocou os pêndulos para oscilarem, sem autorização do professor. Ao fazer isso, ele interrompeu várias vezes o discurso do professor.

Ao abordar as três primeiras questões apresentadas na folha, o professor registrou conceitos-chave no quadro que estruturam o conhecimento escolar sobre o fenômeno da ressonância. Durante a discussão da terceira questão, um estudante solicitou que o professor alterasse a configuração do experimento e mudasse a massa de um dos pêndulos.

Após atender à solicitação do estudante, o professor substituiu o equipamento usado nas primeiras demonstrações por outro constituído por pêndulos simples presos em um mesmo cordão grosso. O professor disse aos estudantes que qualquer pêndulo da montagem podia fazer o cordão grosso oscilar e que, quando isso ocorresse, as oscilações provenientes de um pêndulo poderiam ser transmitidas para outros pêndulos. Ele, então, colocou um dos pêndulos para oscilar e pediu aos estudantes para observar o que iria ocorrer com os outros pêndulos. Após a observação ocorrer, ele disse aos estudantes o que era a ressonância e qual era a condição para a ocorrência desse fenômeno. Nessa fase da aula, ele também recorreu a um exemplo do cotidiano no qual uma criança é empurrada em um balanço que apresenta uma amplitude de oscilação cada vez maior, desde que a frequência dos empurrões coincida com a frequência natural de oscilação do balanço.

Em seguida, ele realizou outros experimentos para oferecer aos estudantes a oportunidade de usar as ideias recém apresentadas tais como o experimento no qual diapasões são inseridos em caixas de ressonância voltadas uma contra a outra. Em todos os experimentos realizados houve bastante interação entre os estudantes e o professor que coordenou os modos de comunicação gestual e manipulação de objetos com o modo de comunicação verbal.

Nos quinze minutos finais da aula, o professor exibiu um filme curto que permitiu aos estudantes responderem às duas últimas questões da folha entregue no início da aula. O filme registra o colapso da ponte de Tacoma que ruiu ao entrar em ressonância com oscilações presentes em um fluxo de ar turbulento provocado pela interação entre um vento não muito intenso e a borda chapada da ponte. Após a exibição do filme, o professor fez a chamada e deu a aula por encerrada.

### 5.3.2. DESCRIÇÃO DO SEGMENTO

O quadro a seguir apresenta uma descrição do primeiro segmento da aula do dia 21/10/2013. Conforme pode ser observado no quadro 13, foram identificados três segmentos na aula. O segmento 1, objeto de análise desta seção, durou, aproximadamente, 25 minutos e foi iniciado cerca de 5 minutos após o início da aula, tempo necessário para os estudantes se acomodarem. Nesse segmento, o professor dedicou-se à discussão de algumas questões de uma atividade de casa proposta na aula anterior.

**QUADRO 18: Descrição do segmento 1 da aula do dia 21/10/2013**

|                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ação complexa</b> | Realização das atividades 1 e 2 do e-book <i>Atividades em um laboratório virtual de ondulatória</i> .                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Propósito</b>     | Retomar a tarefa de casa solicitada na aula anterior para discutir:<br>i) eventuais efeitos de mudanças na tensão aplicada em uma corda, bem como na amplitude e frequência das oscilações da fonte na velocidade de propagação da onda; ii) relação entre fase e comprimento de onda; iii) relação entre velocidade, frequência e comprimento de onda em uma onda periódica. |

|                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Ações subsidiárias</b></p>                   | <p>1- Registro no quadro da pauta da aula: discussão do <i>Para Casa</i> e apresentação do fenômeno da <i>Ressonância</i>.</p> <p>2- Registro no quadro da questão do <i>Para Casa</i> acerca do efeito de mudanças na tensão aplicada em uma corda sobre a velocidade de ondas que nela se propagam.</p> <p>3- Interpretação, junto aos estudantes, dos comandos que aparecem na tela do aplicativo.</p> <p>4- Produção, no aplicativo, de pulsos na corda sob duas tensões diferentes acompanhada de identificação de mudanças na velocidade da onda.</p> <p>5- Acréscimo de novas inscrições (régua e cronômetro) na tela do aplicativo, acompanhada da produção dos mesmos pulsos anteriores a fim de determinar, quantitativamente, as velocidades das ondas.</p> <p>6- Alterações das configurações do aplicativo e discussão dos efeitos de mudanças na amplitude e frequência sobre a velocidade da onda.</p> <p>7- Nova alteração das configurações do aplicativo para relacionar os conceitos de fase e comprimento de onda.</p> <p>8- Apresentação da relação entre velocidade, frequência e comprimento de onda a partir da análise de ondas produzidas pelo aplicativo.</p> <p>9- Registro, no quadro, das principais informações e conceitos apresentados ao longo do segmento.</p> |
| <p><b>Recursos mediacionais</b></p>                | <p>1 e 2- Modos verbais oral e escrito, roteiro impresso das atividades do e-book <i>Atividades em um laboratório virtual de ondulatória</i>; quadro branco e caneta preta.</p> <p>3, 4 e 6- Modo visual imagens em movimento; modo interação com imagens; modo verbal oral; modo gestual; <i>Data show</i> ligado ao PC com a projeção do aplicativo <i>Onda em Corda</i>.</p> <p>5, 7 e 8- Modo visual imagens em movimento; modo interação com imagens; modo gestual; modos verbais oral e escrito <i>Data show</i> ligado ao PC com a projeção do aplicativo <i>Onda em Corda</i>; roteiro impresso das atividades 1 e 2 do e-book <i>Atividades em um laboratório virtual de ondulatória</i>; quadro branco e caneta preta.</p> <p>9 – Modos verbais oral e escrito; modo gestual; quadro branco e caneta preta.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <p><b>Divisão do trabalho entre os agentes</b></p> | <p>O professor: (i) lê as questões do roteiro das atividades; (ii) interage com as imagens do aplicativo tanto por meio do mouse, quanto por meio da aproximação do quadro; (iii) registra conceitos-chave no quadro; (iv) faz inscrições adicionais (rabiscos e sinalizações) à caneta sobre a imagem projetada no quadro; (v) dirige perguntas aos estudantes; (vi) esclarece dúvidas apresentadas pelos estudantes.</p> <p>Os estudantes reagem às ações do professor e apresentam questões sobre o tema. Alguns também registram no caderno as anotações feitas no quadro pelo professor.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

|                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Cenário</b> | As carteiras dos estudantes estavam enfileiradas e voltadas para o quadro. Entretanto, as luzes estavam apagadas devido ao uso do data show. O professor posicionou-se na frente da sala e movimentou-se inúmeras vezes ora aproximando-se do computador, ora do quadro, para interagir com as imagens ou para registrar conceitos-chave. O nível geral de ruído da sala devido a conversas ou brincadeiras era pequeno. Os estudantes estavam atentos às explicações do professor e faziam perguntas. Em um dado momento, algumas perguntas feitas por dois estudantes desviaram-se do tema da aula. Apesar do baixo nível de ruído, o professor teve que fazer algumas interrupções para chamar a atenção de alguns estudantes. |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### 5.3.3. TRANSCRIÇÃO DO SEGMENTO

#### Subsegmento SS1 para o qual atribuímos a intenção retórica de estudo do efeito de mudanças na tensão aplicada na corda sobre a velocidade das ondas

No início de SS1, o *data show* estava ligado e projetava no quadro a tela de abertura do aplicativo *Onda em Corda*. O professor estava na frente da sala, ao lado do computador e com o corpo e o rosto voltados para a turma.

03'20"- Professor: *Vamos fazer uma discussão/ no início/ sobre algumas atividades do para casa/ que eu acho que são importantes/ a gente vai falar delas aqui/depois*



*vou entrar com um assunto novo/ que e a ressonância/ que::/ eu vou trabalhar com*



1a



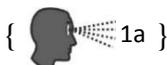
1b

*vocês aqui/ a partir de algumas demonstrações e::/ um vídeo também./ A primeira coisa*



*(15s)/ Uma primeira questão que eu acho interessante a gente olhar ali/ tem a ver*

\*\*\* }



1a



1b

1b

*com/ é::/ uma pergunta que tá lá/ se a tensão altera a velocidade/ se a tensão na corda*

----- }

*altera a velocidade da onda/ ou do pulso/ que tá ali na corda./ Primeira coisa é passar*



*essa::/essa::/ esse amortecimento pra zero/ e colocar ali sem/ é::/ sem o limite/ né?/*

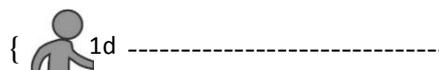
*Pra onda caminhar até o infinito/ e::/ vamos colocar uma tensão aqui alta/ uma*

*amplitude 50/ e vamos fazer aquele::/ aquele macetinho/ que vocês viram lá como é que*

*faz/ de colocar o pause/ colocar ela pausada/ produzir o pulso/ e depois ir/ quadro a*

*quadro/ né?/ que aí eu posso ver como é que ela vai se movimentando/ tá?/ Nesse caso/*

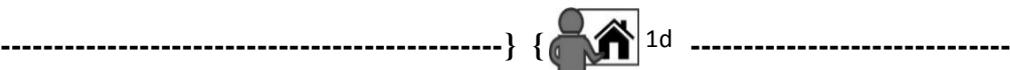
*vou colocar aqui ((fala isso com a voz mais fraca))/ dá pra ter uma ideia da velocidade*



*do pulso/ do tanto que ele tá andando ali/ ah!/ vamos colocar o tamanho do pulso*



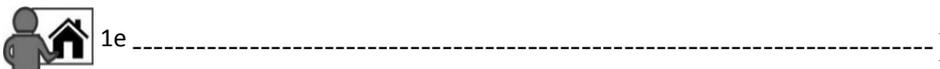
*maior que fica mais fácil de ver/ 100%/ vamos colocar outro pulso com tensão*



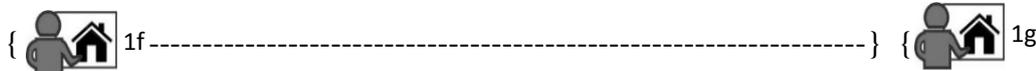
*menor/ Qual desse dois você acha que tá andando com menor velocidade?/ Então/ tem*



*uma maneira fácil de olhar isso/ que é colocar aqui os dois medidores/ né?/vou*



*produzir o pulso/ e vou olhar o tempo que ele leva pra andar 10 centímetros/ o tempo*



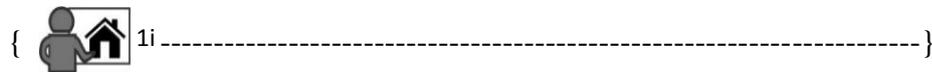
que ele leva pra andar 10 centímetros (10s)/ 1 minuto e:./ naquela escala ali/ 1 minuto  
-----}

e dois segundos/ [ 1 minuto?] ((fala de uma estudante ao perceber que esse tempo era  
muito grande))/ com a tensão maior (30s)/ [é 1 segundo e 2 milésimos] ((a mesma

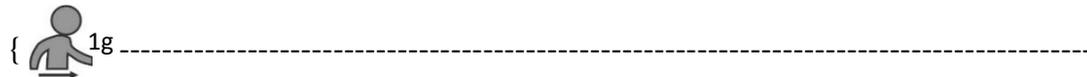


estudante intervém))[eu tô desaprendendo, professor]((comentário de outra estudante))

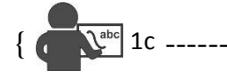
se eu colocar aqui de novo/ e ver o tempo que leva pra ele andar os mesmos 10 cm/ aí



foi 19 segundos ou:./ milésimos de segundo/ dependendo de como você olha aquela



escala/ tá?/ Então/ é bem mais rápido quando a tensão é maior/ então/ tensão maior tá  
-----}



relacionada com velocidade maior(15s)/

-----}

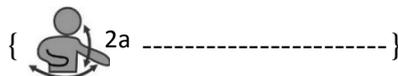
| Descrição das ações e gestos |                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                              | <p>O professor vai ao quadro e escreve a pauta da aula. Com essa ação ele deixa claro para os estudantes que o aplicativo <i>Onda em Corda</i> será utilizado apenas durante a primeira parte da aula.</p>                                   |
|                              | <p>O professor afasta-se do quadro e volta-se, novamente, para a turma. Com essa ação, ele sinaliza sua intenção de dar início às atividades da pauta.</p>                                                                                   |
|                              | <p>O professor interrompe sua fala e faz um gesto, bem conhecido pelos estudantes, no qual mantém o braço direito estendido e estala repetidas vezes os dedos. Com esse gesto ele chama a atenção de parte da turma que está dispersa.</p>   |
|                              | <p>O professor olha para a folha com as atividades do <i>Para casa</i> que está sobre a mesa. Com essa ação ele indica para os estudantes que vai discutir as questões nela propostas.</p>                                                   |
|                              | <p>O professor aponta para a tela do aplicativo que está projetada no quadro, indicando que usará o aplicativo para responder à primeira questão. Em seguida, dirige-se ao quadro e escreve:<br/><i>1. a tensão altera a velocidade?</i></p> |

|                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|  1c<br> 1a     | <p>O professor aproxima-se do computador e altera as configurações do aplicativo. Cada alteração é descrita verbalmente pelo professor que ora olha para a projeção, ora para os estudantes. A descrição verbal das ações do professor visa esclarecer para os estudantes a função dos vários comandos e o significado das várias inscrições que aparecem no aplicativo.</p> |
|  1b                                                                                             | <p>O professor aperta a tecla play do aplicativo para que os estudantes tenham uma percepção visual e qualitativa da velocidade de propagação do pulso.</p>                                                                                                                                                                                                                  |
|  1d                                                                                             | <p>O professor afasta-se do computador, mas mantém seu corpo voltado para a mesa e, portanto, fica de perfil para a turma. Com esse comportamento proxêmico, o professor sinaliza que pretende voltar a interagir com as imagens por meio do computador.</p>                                                                                                                 |
|  1c                                                                                             | <p>Como se empurrasse alguma coisa, o professor faz um gesto no qual desloca as duas mãos abertas horizontalmente para frente. Com esse gesto de ação ele faz referência à propagação do pulso que acabara de exibir na tela do aplicativo.</p>                                                                                                                              |
|  1e<br> 1c     | <p>O professor aproxima-se do computador, aumenta o tamanho do pulso e aperta novamente a tecla play. Com essa ação ele mostra mais uma vez para os estudantes a propagação do pulso para a mesma tensão na corda.</p>                                                                                                                                                       |
|  1d                                                                                            | <p>O professor move o cursor do aplicativo que diminui a tensão e produz o pulso que se propaga com velocidade visivelmente mais baixa.</p>                                                                                                                                                                                                                                  |
|  1f<br> 1a | <p>O professor afasta-se um pouco do computador enquanto o pulso se propaga. Vira seu corpo para os estudantes e fica olhando para eles a espera de uma resposta.</p>                                                                                                                                                                                                        |
|  1g<br> 1e | <p>O professor aproxima-se do computador e acrescenta réguas e um cronômetro que estão disponíveis no aplicativo. Essa ação esclarece para os estudantes quais são os medidores aos quais ele se refere na sua fala.</p>                                                                                                                                                     |
|  1f                                                                                           | <p>O professor produz um pulso, congela a imagem e posiciona a régua de tal forma que o zero coincida com a crista do pulso. Essas ações são realizadas com o intuito de ensinar aos estudantes como medir a velocidade de um pulso.</p>                                                                                                                                     |
|  1g                                                                                           | <p>O professor avança o pulso quadro a quadro até ele percorrer 10cm. Essa ação completa a ação anterior.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                |
|  1h                                                                                           | <p>O professor altera a configuração do aplicativo, aumenta a tensão na corda, produz um novo pulso e ajusta a posição da régua. Essa ação indica para os estudantes que uma nova medida será feita.</p>                                                                                                                                                                     |
|  1i                                                                                           | <p>O professor zera o cronômetro e avança a imagem quadro a quadro até o pulso percorrer 10 cm.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|  1h                                                                                           | <p>O professor afasta-se do computador e desloca-se para a região central da frente da sala. Com essa proxêmica ele sinaliza sua intenção de interagir com os estudantes.</p>                                                                                                                                                                                                |
|  1c                                                                                           | <p>O professor escreve no quadro a relação entre a tensão e a velocidade do pulso. Com essa ação ele sinaliza para os estudantes que essa é uma relação importante.</p>                                                                                                                                                                                                      |

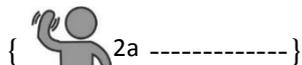
**Subsegmento SS2 para o qual atribuímos a intenção retórica de verificação de um eventual efeito de mudanças da amplitude sobre a velocidade da onda**

No início do SS2, o professor estava na frente da sala e próximo do computador. Seu corpo e seu rosto estavam voltados para a turma.

9'20"- Professor: *A segunda questão que eu acho interessante/ é se::/ a amplitude/ a*



*amplitude desse pulso/ muda ou não a velocidade dele/ tá?/ Aqui deu pra ver que esse*



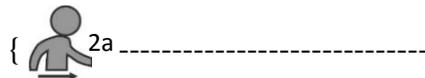
*pulso anda 10 cm em 19/ ou segundos/ ou milésimos de segundos/ se eu aumentar a*

----- }

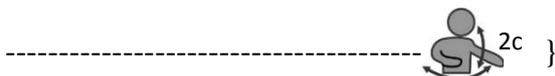
*amplitude para/ o dobro/ e fazer de novo o pulso (7s)/ e medir de novo o tempo que ele*



*leva para andar os 10 cm(5s)/ é praticamente a mesma coisa./ Aí tem uma questão que*



*eu faço mas queria colocar pra::/ Maria./ A gente tem a ideia de que/ se eu fizer um*



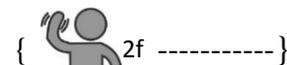
*pulso maior/ eu faço mais trabalho/ com mais energia/ ele deve andar mais rápido/*



*tá?/ Mas aqui eu faço um pulso maior aí o que fica maior é a amplitude dele/ mas a*



*velocidade não muda [A velocidade não muda?] ((O estudante da 1ª carteira*



*interrompe a fala do professor. Sua dúvida talvez esteja associada ao fato de o cronômetro marcar um valor ligeiramente menor que os 19 centésimos de segundo indicados anteriormente))*

*Não./ Por que?/ Hein Maria?/ ((A estudante balança a cabeça negativamente)) Não*

*tem a menor ideia/né?/ A velocidade depende só da característica do meio/tá?/ Aquele meio ali/ se tá na mesma tensão/ não importa o tamanho do pulso/ nem a frequência*

{ ~~~~~  2g } {  2h -----  2i ----- }

*da onda/ nem nada/ ele vai andar na mesma velocidade/ a velocidade é uma*

----- } {  2j ----- }

*característica do meio que tá transmitindo o pulso./*

11'24" - Eduardo: *Então a velocidade só muda com a frequência.*

11'26" - Professor: *Nem com a frequência e nem com a amplitude.*

{  2k ----- }

11'30" - Eduardo: *Frequência não?*

11'31" - Professor: *Não./ Só com a tensão.//*

{  2b  2e }

11'35" - Eduardo: *Mas se a frequência fosse maior, não teria mais ondinhas?*

*((O estudante parece confundir a velocidade de propagação com a velocidade de oscilação, ou seja, com a frequência. Essa é uma dúvida muito comum entre os estudantes ao serem introduzidos no estudo da ondulatória))*

11'39" - Professor: *Teria./ Vou fazer ela aqui pra você ver./ Vamos medir o tempo que*

{  2f ----- }

*leva pra esse pulso aqui/ [Ah! A frequência só ia afetar o tamanho da onda] Só o*

----- }  
*tamanho./ Se eu medir esse tempo aqui/ pra ela andar 10cm/ dá 16 segundos ali/ se eu*

----- }  
*dobrar a frequência/ colocar uma frequência maior/ e vamos medir de novo o tempo*

{  2g ----- }

{  2h ----- }

pra ela andar 10cm/ de novo/ 16 segundos// Então/ a fulana ficou sabendo agora/

-----} {  2c ----- }

não importa/ se a frequência é maior/ se a amplitude é maior/ a velocidade só muda/

{  2l -----  2m ----- }

se eu mudar a tensão no meio/ ou se eu mudar o meio/ né?/ Colocar um meio que tenha

{  2n ----- }

mais massa/ mais inércia//

12'39"- Eduardo: Então a velocidade sempre é a mesma?

12'41"- Professor: Sempre a mesma/ no mesmo meio/ igual quando eu falo a velocidade

do som no ar/ não importa a frequência do som/ da onda sonora/ importa que tá no ar/

{  2o ---- }

na temperatura ambiente/ a velocidade do som no metal/ no aço/ é muito maior/ pra

{  2p ----- }

qualquer frequência/

{  2q ---- }

13'03"- Eduardo: Por isso que tem aquele negócio/ que você coloca hélio/ daí a

{  2r }

frequência::/ ((franze a testa expressando dúvida no seu raciocínio)) não/ ele propaga

mais rápido no hélio do que no ar/ aí dá aquele negócio mais agudo//

13'17"- Professor: No hélio é::/ mais rápido/ porque a massa é menor/ tá?/ A

{  2d }

{  2s -- }

velocidade fica maior mesmo/ mas a frequência é a mesma/ muda é o comprimento de

onda// ((o estudante balança a cabeça positivamente, indicando que entendeu))

13'31" - Benício: *Mas por exemplo/ a luz também é uma onda/ não é?/*

13'35" - Professor: *Uma onda não em um meio material/ uma onda que cria o seu*

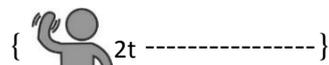


*próprio meio/ uma onda de campos/ mas qual que é a pergunta?//*

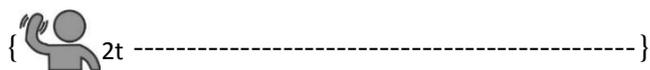


13'44"- Benício: *É porque/ ela deveria ser dada pela velocidade do som então/ porque ela tá no ar igual ao som//*

13'50"- Professor: *Não/ porque a luz/ ela cria um campo que se propaga/ então esse*



*campo se propaga sempre com a mesma velocidade/ a luz é um caso especial/ ela não*



*muda a velocidade no meio/ e é bem maior a velocidade//*

14'10"- Eduardo: *Mas a luz comporta tanto como onda/ como partícula? ((Franze a testa indicando não ter certeza sobre aquilo que está falando))*

14'13"- Professor: *Aí já é uma outra coisa/ isso tem a ver com a propriedade dual da*



*luz/ tá?/ na verdade a luz/ ela é composta de partículas de energia/ só que essas*

*partículas se movem como uma onda/ no espaço/ mas qualquer partícula é assim/ o*



*elétron também é assim/ qualquer partícula é assim/*

14'37"- Eduardo: *Então/ é como se fosse um tanto de bolinha com energia / se movendo como onda.//*

14'40" - Professor: *A imagem é mais complicada/ não dá pra você fazer uma imagem clássica na sua cabeça não//*

14'46"- Eduardo: *Mas daí/ seria possível desviar a luz/ de fazer ela fazer uma trajetória assim?/*



14'52"- Professor: *É possível você fazer isso/ de duas maneiras/ ou quando ela passa*



*de um meio para outro/ ela desvia/ ou quando ela passa próximo de um campo*



*gravitacional muito grande//*

15'03"- Eduardo: *Aí ela desvia?*

15'05"- Professor: *Ela desvia também. ((balança a cabeça afirmativamente))*

15'07"- Eduardo: *Então/ tipo/ o sol tá iluminando a Terra/ daí os que tão vindo pelos*

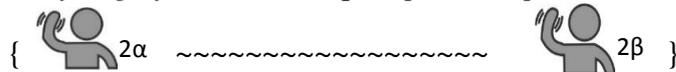


*cantos/ eles tão fazendo meio assim?/*

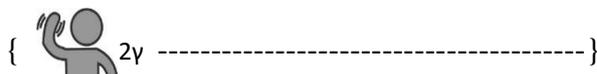


15'14"- Professor: *((Balança a cabeça afirmativamente)) Essa ((Repete o gesto 2z do estudante)) é uma maneira de comprovar a Teoria da Relatividade Geral do Einstein.*

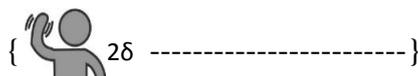
*Num eclipse/ você fotografa as estrelas que aparecem perto do sol/ que você só vê por*



*causa do eclipse/ tampa o sol/ você consegue ver as estrelas/ depois você fotografa de*



*novo a mesma região/ quando está do outro lado/ o sol/ aí você vê as estrelas/ mais*



*afastadas/ na hora que passa perto do sol/ elas fazem isso/ aí parecem estar em uma*



*distância maior//*

| Descrição das ações e gestos                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  2a                                                                                         | O professor fica de lado para a turma para olhar a folha da atividade do “Para casa”. Essa mudança de postura corporal reforça sua intenção de continuar a discussão de questões do “Para casa”. Em seguida, vira o corpo novamente para a turma.                                                     |
|  2a                                                                                         | O professor oscila o braço direito verticalmente com grande amplitude. Esse gesto tenta esclarecer para os estudantes o significado de amplitude.                                                                                                                                                     |
|  2b<br> 2a | O professor fica novamente de lado para a turma, olhando ora para os estudantes, ora para o quadro onde está projetada a tela do aplicativo. Ao mesmo tempo, interage com a imagem por meio do mouse.                                                                                                 |
|  2b                                                                                         | O professor move o cursor da amplitude, que estava em 50, para 100. Essa ação antecipa a fala do professor e tem um caráter procedimental, isto é, a intenção do professor é explicar para os estudantes como interagir com o aplicativo para obter respostas para as diversas questões investigadas. |
|  2c                                                                                         | O professor aperta a tecla do aplicativo que produz um novo pulso e reposiciona a régua do aplicativo para que o zero coincida com a crista do pulso. Essa ação tem a mesma intenção da ação anterior.                                                                                                |
|  2d                                                                                        | O professor avança a imagem quadro a quadro até que o pulso percorra os 10cm. Essa ação complementa as ações anteriores.                                                                                                                                                                              |
|  2a                                                                                       | O professor olha para a tela do aplicativo que está projetada no quadro e que registra o tempo de 16s, afasta-se do computador e desloca-se para a região central na frente da sala.                                                                                                                  |
|  2c                                                                                       | O professor inclina um pouco o corpo na direção da estudante. Essa mudança de postura corporal sinaliza para a estudante que o professor pretende interagir com ela.                                                                                                                                  |
|  2b                                                                                       | O professor oscila verticalmente a mão direita para cima com grande amplitude. Esse gesto reproduz a ação necessária para fazer um pulso em uma corda (ou mola) real.                                                                                                                                 |
|  2c                                                                                       | O professor desloca a mão e o braço direitos horizontalmente para a direita. Esse gesto faz referência à velocidade de propagação do pulso.                                                                                                                                                           |
|  2d                                                                                       | O professor aponta para a tela do aplicativo que está projetada no quadro. Com esse gesto dêitico, ele indica para os estudantes qual é o foco da discussão.                                                                                                                                          |
|  2e                                                                                       | Com as duas palmas das mãos posicionadas na horizontal e voltadas uma para a outra, o professor desloca mão direita verticalmente para cima e a esquerda para baixo, referindo-se com esse gesto ao aumento da amplitude do pulso.                                                                    |
|  2f                                                                                       | O professor faz pequenos e sucessivos deslocamentos da mão e do braço direitos na direção horizontal e para a direita de forma compassada. Com esse gesto de ação, ele reproduz a propagação do pulso pela corda.                                                                                     |
|  2g                                                                                       | O professor faz um gesto como se esticasse uma corda com as mãos. Com esse gesto ele enfatiza o significado do termo tensão usado nessa situação.                                                                                                                                                     |
|  2h                                                                                       | O professor repete o gesto 2e cujo referente é o aumento da amplitude. Com a repetição desse gesto, o professor sinaliza que o termo “tamanho do pulso” é usado por ele nessa situação como sinônimo de amplitude.                                                                                    |
|  2i                                                                                       | O professor oscila verticalmente a mão direita. Esse gesto, combinado com o gesto seguinte, reforça para os estudantes a diferença entre frequência e velocidade de propagação.                                                                                                                       |

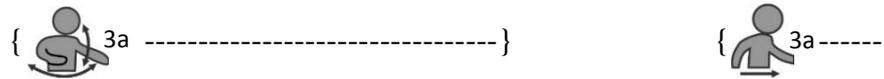
|                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  2j                                                                                         | O professor desloca horizontalmente para direita as duas mãos que estão abertas na vertical e voltadas uma para outra. Esse gesto enfatiza que a propagação do pulso se dá na direção horizontal.                                                                                              |
|  2k                                                                                         | Olhando para o estudante que lhe dirigiu uma pergunta, o professor faz um gesto de partição com o dedo indicador direito em riste. Sua intenção é frisar que a amplitude e a frequência não afetam a velocidade do pulso.                                                                      |
|  2b<br> 2e | O professor aproxima-se do computador e altera a configuração do aplicativo, de maneira a substituir o pulso por uma onda periódica. Essa ação sinaliza para os estudantes que o professor usará o aplicativo para esclarecer a dúvida que um estudante acabara de lhe apresentar.             |
|  2f                                                                                         | O professor posiciona a régua e o cronômetro; então, avança a imagem quadro a quadro para medir a velocidade de propagação da onda.                                                                                                                                                            |
|  2g                                                                                         | Com o mouse, o professor move o cursor do aplicativo que controla a frequência da onda, a fim de dobrar o valor desta. Essa ação, indica que ele ajudar um estudante a verificar a resposta que o estudante formulou à pergunta que o professor apresentou.                                    |
|  2h                                                                                         | O professor avança a imagem quadro a quadro para determinar a velocidade de propagação da onda.                                                                                                                                                                                                |
|  2c                                                                                         | O professor afasta-se do computador e desloca-se para a região central na frente da sala. Com esse comportamento proxêmico, ele sinaliza que vai apresentar alguma conclusão sobre a simulação que acabara de fazer.                                                                           |
|  2l                                                                                       | O professor oscila o braço direito vertical e periodicamente. Com esse gesto, ele reforça o conceito de frequência.                                                                                                                                                                            |
|  2m                                                                                       | O professor afasta os braços na direção vertical movendo um deles para cima e o outro para baixo. Com esse gesto ele faz referência ao aumento da amplitude.                                                                                                                                   |
|  2n                                                                                       | O professor faz um gesto como se esticasse uma corda com as mãos. Com esse gesto ele enfatiza o significado do termo <i>tensão</i> usado nessa situação.                                                                                                                                       |
|  2o                                                                                       | O professor faz um gesto no qual desloca o braço direito ao longo do comprimento da sala referindo-se ao ar que preenche aquele espaço.                                                                                                                                                        |
|  2p                                                                                       | O professor eleva o braço direito, enfatizando a maior velocidade do som nos metais.                                                                                                                                                                                                           |
|  2q                                                                                       | O professor oscila alternadamente as mãos. Com esse gesto ele enfatiza o significado de frequência.                                                                                                                                                                                            |
|  2r                                                                                       | O estudante aponta com o dedo indicador para sua boca. Esse gesto substitui a expressão <i>na boca</i> e dá sentido à fala do estudante.                                                                                                                                                       |
|  2d                                                                                       | Com o corpo e o olhar voltados para o estudante que fez a pergunta, o professor sinaliza que vai interagir apenas com aquele estudante.                                                                                                                                                        |
|  2s                                                                                       | O professor faz um gesto no qual aproxima os dedos indicador e polegar da mão esquerda indicando que a massa do Hélio é menor.                                                                                                                                                                 |
|  2d                                                                                       | O professor desloca-se em direção ao estudante que fez a pergunta, permanecendo ainda na frente da sala, porém com o corpo e o olhar voltados para o estudante. Esse comportamento proxêmico indica a intenção do professor de interagir predominantemente com o estudante que fez a pergunta. |

|                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  2t   | O professor oscila a mão direita desenhando no ar o perfil de uma onda transversal.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|  2u   | O professor faz um gesto pragmático de modalização: gira 180° a mão direita que está aberta e com a palma voltada para baixo de modo que ela passa a ficar voltada para cima.                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|  2v   | Como se estivesse segurando uma esfera em cada mão, o professor oscila verticalmente as mãos enquanto as aproxima de um estudante. Com esse gesto, ele tenta criar uma representação para a dualidade da luz.                                                                                                                                                                                                                                    |
|  2w   | O estudante faz um gesto com o braço direito indicando uma curva para a direita. Esse gesto completa a fala do estudante, ou seja, descreve a trajetória da luz sob o efeito de um campo gravitacional intenso.                                                                                                                                                                                                                                  |
|  2x   | O professor desloca horizontalmente o braço direito para a esquerda. Esse gesto de ação refere-se ao movimento da luz descrito pelo professor.                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|  2y   | O estudante eleva a mão direita aberta, um pouco acima da sua cabeça, simulando a posição do sol.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|  2z   | Com as mãos abertas posicionadas na vertical, os dedos polegares para cima e as palmas voltadas uma para outra, o estudante descreve uma curva no ar, como se suas mãos contornassem uma esfera. Com esse gesto ele simula os raios provenientes de uma estrela distante ao passar pelo Sol.                                                                                                                                                     |
|  2α   | Com as duas mãos, o professor desenha um retângulo no ar. Esse gesto faz referência à fotografia das estrelas, anunciada em sua fala.                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|  2β   | Com o dedo indicador direito, o professor aponta para o retângulo imaginário que acabara de desenhar no ar. Em seguida, movimenta o braço esquerdo, diagonalmente, de baixo para cima e da esquerda para a direita. Durante esse movimento, sua mão esquerda aberta cuja palma está voltada para cima fica cada vez mais próxima do dedo indicador da mão direita. Nesse gesto, o dedo indicador refere-se às estrelas e a mão refere-se ao sol. |
|  2γ  | Com as duas mãos, o professor faz a forma de um círculo um pouco acima da sua cabeça, em seguida, com o dedo indicador aponta para um ponto próximo ao círculo que acabara de representar.                                                                                                                                                                                                                                                       |
|  2δ | Com as duas mãos abertas, com os polegares para cima, e voltadas uma para outra, o professor descreve horizontalmente um semicírculo no ar, posicionando as mãos um pouco mais à frente.                                                                                                                                                                                                                                                         |
|  2ε | O professor afasta horizontalmente os braços para indicar as posições aparentes das estrelas que decorrem da curvatura da luz ao passar próxima do Sol.                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

### **Subsegmento SS3 para o qual atribuímos a intenção retórica de apresentação do conceito de fase**

No início da SS3, o professor estava na frente da sala, ao lado do computador e com o corpo voltado para o estudante Eduardo.

15'49" Professor: *A outra pergunta/ questão interessante/ tem a ver com as fases/ vou*



*voltar aqui para 50%/ mais ou menos/ aqui também(15s)/ oscilar/ dá uma olhadinha/*



*é::/ em dois pontos/ que oscilam do mesmo jeito/ vou tentar pegar esses dois pontos/*



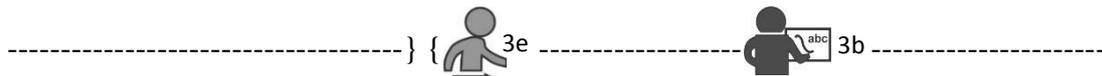
*vou usar dois pontinhos aqui ó/ dá uma olhadinha sobre esses dois pontinhos verdes*



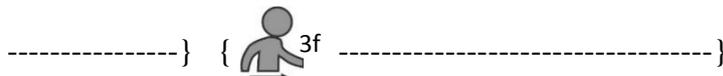
*aqui ó/ quê que acontece quando a onda passa por eles (8s)/ vê que eles descem/ e/*



*sobem/ do mesmo jeitinho!(5s)/ Esses dois pontinhos verdes aqui ó/ eu digo que eles*

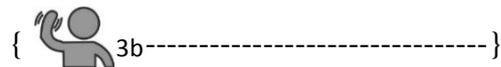


*estão em fase/ o quê que quer dizer estar em fase?(5s)/*

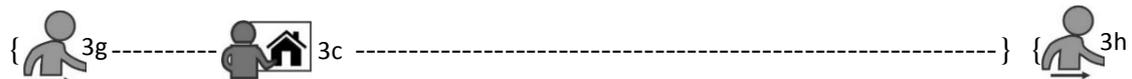


17'48" Estudante não identificado: *Sincronizado.*

17'50" Professor: *Sincronizados/ eles estão subindo e descendo do mesmo jeito/ né?/*



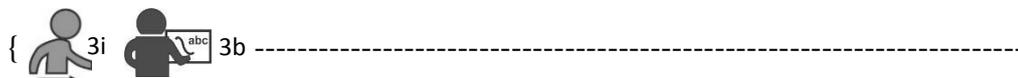
*tem outros pontos aqui/ que estão diferentes/ esse aqui sobe/ esse aqui desce/ mas*



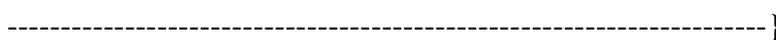
*aqueles dois pontos que estão em fase/ eles sobem e descem ao mesmo tempo/ tá?!/ se*



*eu olhar/ qual que é a distância entre esses dois pontos que estão em fase// qual que é*



*essa distância aqui entre os dois pontos que estão em fase?/*



18' 28" Eduardo: *Isso é o período.*

18'30" Professor: *A distância entre dois pontos/ esses dois pontos aqui/ [comprimento*



*da onda]((um estudante se manifesta)) comprimento da onda (15s)/ a distância entre*



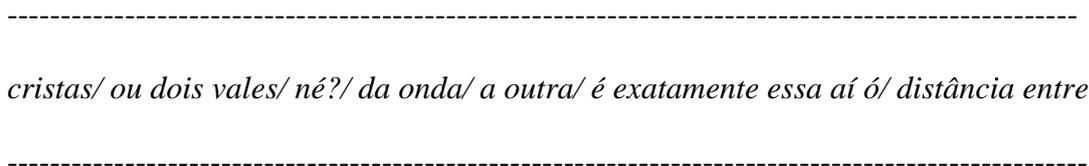
*dois pontos/ que estão em fase/ que estão vibrando juntos/ é exatamente o comprimento*



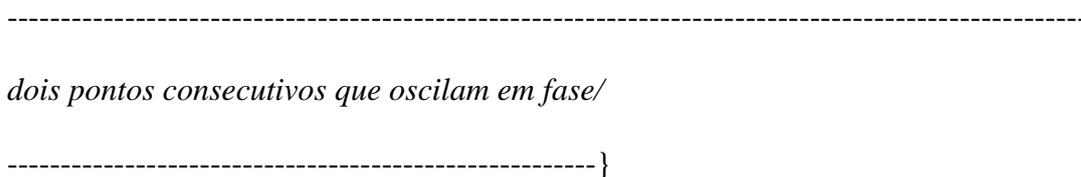
*de onda/ né?/ Então eu tenho duas maneiras diferentes de definir o comprimento de*



*onda (9s)/ a primeira é aquela que eu já tinha falado antes/ é a distância entre duas*



*cristas/ ou dois vales/ né?/ da onda/ a outra/ é exatamente essa aí ó/ distância entre*



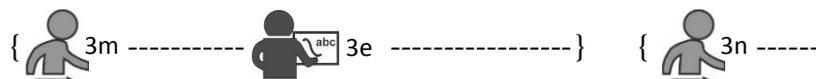
*dois pontos consecutivos que oscilam em fase/*



20'04" Benício: *Então/ qualquer ponto que eu pegar na frequência eu consigo descobrir/ se eu pegar dois pontos...*



20'10" Professor: *Isso/ se você pegar esse ponto aqui e esse aqui/ eles também estão*



*em fase/ [você vai conseguir descobrir]((o estudante intervém)) a distância entre eles/*



*é o comprimento de onda//*



20'20" Eduardo: *Se você quisesse colocar num recipiente de água/ um alto-falante/ isolar os cabos/ pra não entrar em contato/ ia dá pra gente ver as ondas emitidas?//*

20'40" Professor: *Depende da frequência/*

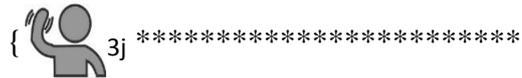
20'42" Eduardo: *Você podia fazer um negócio desses/ hein!//*

20'44" Professor: *Isso aí na verdade você pode fazer é::/ a gente tem um equipamento/*



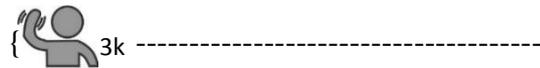
*que chama cuba de ondas/ e você tem um vibrador que fica batendo/ na água/*

\*\*\*\*\* }



*produzindo ondas periódicas/ e você projeta isso/ de forma que dá pra você ver isso*

\*\*\*\*\* }



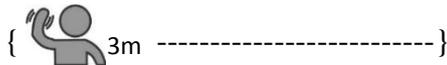
*passando no quadro / tá?/ É::/ a gente tem isso aí/ eu tô planejando/ pra ver se eu*

----- }



*consigo mostrar pra vocês/ não precisa ter um alto-falante não/pode ser qualquer coisa*

*que fica vibrando e batendo na água/[com o alto-falante é mais legal] ((o estudante*



*intervém)) o alto-falante/ ele molha/ aí não produz o pulso direito...//*

| Descrição das ações e gestos |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                              | O professor abaixa-se um pouco para ler a folha da atividade que está sobre a mesa. Essa mudança de postura corporal sinaliza para os estudantes sua intenção de dar prosseguimento à discussão das questões da atividade.                                                                                                                                                                                                      |
|                              | O professor dirige-se para o computador e segura o mouse. Com esse comportamento proxêmico, ele indica que vai alterar as configurações e vai interagir com as imagens.                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                              | Com o mouse, o professor move o cursor que controla a frequência dos pulsos. Em seguida, move o cursor da amplitude, aperta o comando que produz a onda e, logo após, pausa o aplicativo. Essas ações sincronizadas com a fala pretendem mostrar aos estudantes como as configurações do aplicativo podem ser alteradas de maneira a permitir a elaboração de respostas às questões propostas na atividade dada como para casa. |
| <br>                         | O professor aproxima-se da imagem projetada no quadro e aponta para dois pontos da corda. Em seguida, volta ao computador e avança mais a imagem. Esse gesto tem função dêitica, indicando para onde os estudantes devem dirigir suas atenções.                                                                                                                                                                                 |

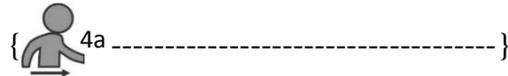
|                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  3c<br> 3a<br> 3b | <p>O professor aproxima-se da imagem projetada, desenha, com o pincel, duas linhas verticais que passam sobre os dois pontos que ele apontou anteriormente e, em seguida, coloca o dedo indicador sobre os dois pontos. Essas ações cumprem a mesma função da ação anterior (gesto 3a).</p>                                                                                |
|  3d<br> 3b                                                                                         | <p>O professor aproxima-se do computador e avança a imagem quadro a quadro, enquanto descreve o comportamento dos pontinhos assinalados. Com essas ações, o professor chama a atenção dos estudantes para o movimento sincronizado descrito pelos dois pontinhos da corda representada na tela do aplicativo.</p>                                                          |
|  3e<br> 3b                                                                                         | <p>O professor aproxima-se da imagem projetada, marca novamente os dois pontinhos com o pincel e, em seguida, escreve a expressão “em fase” entre as duas linhas que ele havia desenhado anteriormente. Com essas ações, o professor compartilha com os estudantes o uso do conceito de fase como forma de descrever características importantes das ondas periódicas.</p> |
|  3f                                                                                                                                                                                 | <p>O professor afasta-se do quadro, volta-se para a turma e fica olhando para os estudantes. Com esse comportamento ele indica que está aguardando alguma resposta dos estudantes.</p>                                                                                                                                                                                     |
|  3b                                                                                                                                                                                 | <p>O professor movimenta as duas mãos, mantidas lado a lado, para cima e para baixo em sincronia. Com esse gesto, ele estabelece qual é a condição para que dois pontos de um meio submetido a uma onda periódica estejam em fase.</p>                                                                                                                                     |
|  3g<br> 3c                                                                                     | <p>O professor aproxima-se do quadro, coloca o dedo indicador sobre outros pontos da corda que não estão em sincronia com os dois pontinhos verdes e reproduz com o dedo indicador o movimento que está verbalizando. Essas ações reforçam o conceito de fase ao servirem para a identificação de pontos que oscilam fora de fase.</p>                                     |
|  3h<br> 3c                                                                                     | <p>O professor afasta-se do quadro, volta-se para a turma e repete o gesto anterior (gesto 3b) para enfatizar o significado de oscilar em fase.</p>                                                                                                                                                                                                                        |
|  3i<br> 3b                                                                                     | <p>O professor aproxima-se do quadro, apaga os registros que estavam sobrepostos à imagem e, em seguida, marca com o pincel a distância entre os dois pontos que estão em fase, deixando um espaço para especificar o significado dessa distância. Em seguida, volta-se para os estudantes. Com essas ações, ele indica esperar respostas dos estudantes.</p>              |
|  3d                                                                                                                                                                               | <p>O professor aponta para o estudante que respondeu à questão por ele proposta. Com esse gesto dêitico, ele sinaliza para os estudantes que ouviu a resposta.</p>                                                                                                                                                                                                         |
|  3j<br> 3e                                                                                     | <p>O professor aproxima-se do quadro e aponta para dois pontos que oscilam em fase. Em seguida, ele se volta, novamente, para a turma. Essas ações são realizadas para que os estudantes compreendam a qual distância ele se refere.</p>                                                                                                                                   |
|  3f                                                                                                                                                                               | <p>O professor aponta para o estudante que deu a resposta e interrompe sua fala para advertir uma estudante que está desatenta. Com essas ações, o professor tanto indica que ouviu a resposta do estudante como sinaliza a importância dos outros estudantes estarem atentos à aula.</p>                                                                                  |

|                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  3k<br> 3f    | <p>O professor aproxima-se do quadro e, novamente, aponta para os mesmos dois pontos da corda para os quais já havia apontado antes. Em seguida, volta-se para a turma e repete o gesto de subir e descer as mãos em sincronia (gesto 3b), gesto usado para enfatizar o significado de oscilar em fase.</p>                                                                                                                                                                                                                 |
|  3l<br> 3c    | <p>O professor aproxima-se do quadro e registra com o pincel a letra <math>\lambda</math> acima da distância assinalada anteriormente. Com essa ação, o professor enfatiza que o comprimento de onda é representado pela letra grega <math>\lambda</math>.</p>                                                                                                                                                                                                                                                              |
|  3d                                                                                            | <p>O professor registra com o pincel, no espaço em branco ao lado da projeção, as duas definições de comprimento de onda. Enquanto escreve as definições ele verbaliza aquilo que escreve.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|  3g                                                                                            | <p>O estudante oscila verticalmente a mão direita mantendo os dedos indicador e médio estendidos horizontalmente. Esse gesto do estudante dá sentido à sua pergunta que não foi totalmente verbalizada.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|  3m<br> 3e    | <p>O professor desloca-se até o quadro e marca com o pincel outros dois pontos da corda que também estão em fase. Isso indica que ele entendeu o questionamento do estudante.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|  3n<br> 3h | <p>O professor caminha em direção ao estudante que fez a pergunta e abre os braços, mantendo, a certa distância, as duas mãos abertas e com as palmas voltadas uma para a outra. Com esse gesto ele faz referência à distância entre os dois pontos assinalados no quadro.</p>                                                                                                                                                                                                                                              |
|  3i                                                                                          | <p>O professor faz um gesto como se estivesse segurando um objeto retangular nas mãos. Esse gesto faz referência à cuba de ondas que tem um formato retangular.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|  3j                                                                                          | <p>Com a palma da mão esquerda estendida horizontalmente, o professor movimenta a mão direita para cima e para baixo, várias vezes, de modo que ela encoste repetidas vezes na mão esquerda. Com esse gesto, ele reproduz o movimento do vibrador da cuba de ondas.</p>                                                                                                                                                                                                                                                     |
|  3k                                                                                          | <p>Mantendo a mão esquerda estendida horizontalmente, o professor desloca a mão direita, que está com os dedos na vertical, de baixo para cima em direção à mão esquerda. Com esse gesto ele simula raios luminosos que atingiriam a cuba de ondas. Em seguida, desloca a mão direita em direção ao quadro. Os dedos dessa mão estão estendidos e voltados também para o quadro para indicar como a luz que incide na cuba é refletida em direção ao quadro de maneira a projetar imagens das ondas produzidas na cuba.</p> |
|  3l                                                                                          | <p>O professor aponta com o polegar para algum lugar fora da sala de aula para indicar que o equipamento por ele mencionado não está imediatamente disponível para ser rapidamente acessado.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|  3m                                                                                          | <p>Com a palma da mão esquerda estendida horizontalmente, o professor movimenta a mão direita (que está com os dedos reunidos e apontados para baixo) para cima e para baixo. Dessa maneira, ele encosta os dedos da mão direita repetidas vezes na palma da mão esquerda. Esse gesto, assim como o gesto 3j, reproduz o movimento do vibrador que compõem uma cuba de ondas.</p>                                                                                                                                           |

### Subsegmento SS4 para o qual atribuímos a intenção retórica de apresentação da relação entre comprimento de onda, frequência e velocidade

No início da SS4, o professor está na frente da sala com o corpo voltado para a turma.

21'30" - Professor: *Bem/ tem uma terceira definição/ uma terceira maneira de ver o comprimento de onda/ que tem a ver com isso aqui ó/ como que eu faço?/ ((diz isso*



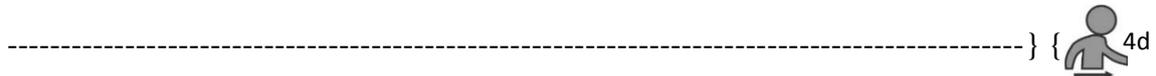
*enquanto manipula o mouse)) ponho isso aqui pra zero/ foi pra zero direitinho/ aí em*



*para aqui/ coloco a amplitude maior (5s)/ e agora eu posso fazer a minha ondinha/*



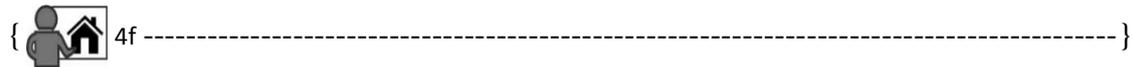
*[zera o cronômetro] eu já vou zerar ele/ eu quero fazer uma oscilação completa/ então/*



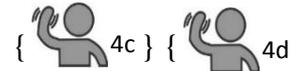
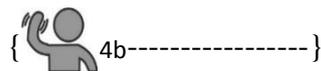
*dá uma olhadinha primeiro nessa bolinha que tá aqui/ tá?/ e::/ me responde o seguinte/*



*que tempo que é esse que demora/ pra que::/ aquela rodinha dê uma volta completa?/*



*Como é que chama isso?/ [Período]((Um estudante se manifesta)) Período/ o período é*



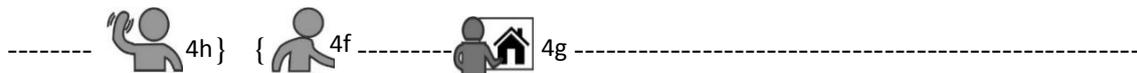
*o tempo de uma oscilação completa/ então o negócio sobe/ desce/ e sobe de novo/*



*então esse tempo é o tempo de 1 período/ olha a distância que a onda percorre/ quando*



*eu tenho 1 período/ de tempo/né?/ ali é 55 segundos/ então/ de novo ela vai andar por*



*1 período/ passou um pouquinho/né?/ ((o professor diz isso ao constatar que o*

----- }

*oscilador deu um pouco mais de uma volta)) então/ essa distância aqui ó/ foi a*



*distância que a onda andou quando::/ teve 1 período de oscilação/ que distância que é*



*essa aqui?/ De novo/ comprimento de onda/ né?/ Então/ tem uma terceira maneira/ de*



*definir/ entender/ o comprimento de onda/ que é/ a distância/ que/ a onda/ percorre/ em*



*um período/*



24'20" - Eduardo: *Então a frequência é quantos períodos cabem em um determinado intervalo de tempo?*

24' 25 - Professor: *Exatamente/ se a frequência é dada em hertz/ ela vai ser a*

*quantidade de::/ oscilações que cabem em 1 segundo/*



24' 34" - Benício: *Espera aí/ eu não entendi o que você falou não/*

24'36" - Professor: *Ele falou que a frequência é a quantidade de quê?/ de oscilações?/*



*de períodos/ [a frequência é quantos períodos cabem em um determinado tempo] ((o*

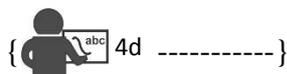
*Eduardo intervém)) então/ a frequência é a quantidade de períodos que cabem em 1*



*segundo/ por exemplo/ ou a quantidade de oscilações/ que cabem em 1 segundo//*



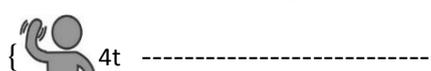
*Daqui você pode tirar/ aquela famosa equação da onda/ lembra que velocidade é*



*distância vezes tempo?/ então/ a distância/ que ele percorre em 1 segundo/ em um*



*período/ é o comprimento de onda/ então a velocidade da onda/ é o comprimento de*



*onda vezes o T/ é::(10s)/ velocidade é distância dividida por tempo/ então a*



*velocidade/ é o comprimento/ a distância que ele percorreu/ dividido pelo tempo/ e*

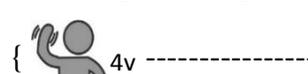


*como o período é o inverso da frequência/ então eu posso colocar isso aqui assim/*



*então a relação entre velocidade, comprimento, período e frequência/ é dada por*

*aquelas duas equações ali/ que na verdade são a mesma/né?/ essa equação aqui/ e*



*essa/ falam a mesma coisa.//*

----- }

| Descrição das ações e gestos |                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4a                           | O professor aproxima-se do computador, segura o mouse e olha para a imagem da tela projetada no quadro. Com essas ações, ele sinaliza para os estudantes que vai interagir com o aplicativo.     |
| 4a                           | O professor desliza o cursor da amplitude para zero. Nessa interação com imagens e nas interações seguintes, ele mantém o olhar voltado para a imagem da tela do aplicativo projetada no quadro. |
| 4b                           | O professor aperta a tecla play do aplicativo e verifica que a corda ficou na horizontal, isto é, sem pulsos se propagando nela.                                                                 |
| 4c                           | O professor aperta a tecla pause para interromper o movimento do oscilador que produz os pulsos.                                                                                                 |

|                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  4d<br> 4b     | <p>Desliza o cursor da amplitude para aproximadamente 50%, acrescenta réguas e cronômetro e, em seguida, vai ao quadro e apaga o registro de <math>\lambda</math> que estava sobreposto à imagem projetada.</p>                                                                                                                                       |
|  4c<br> 4e     | <p>O professor volta para o computador e avança a imagem passo a passo até produzir uma onda completa, isto é, até completar 1 ciclo de oscilação. As interações com imagens (4a até 4e) coordenadas com a fala do professor mostram aos estudantes como interagir com o aplicativo para obter respostas para as questões propostas no para casa.</p> |
|  4d<br> 4a     | <p>O professor vai ao quadro, coloca o dedo indicador sobre a bolinha mencionada na sua fala. Em seguida, volta para o computador e zera o cronômetro. Com essas ações ele indica para onde os estudantes devem dirigir sua atenção.</p>                                                                                                              |
|  4f                                                                                             | <p>Enquanto faz uma pergunta, o professor avança a imagem quadro a quadro até a fonte das oscilações completar uma volta. Essa ação enfatiza para os estudantes que a onda percorre uma distância específica no intervalo de tempo igual a um período.</p>                                                                                            |
|  4b                                                                                             | <p>Voltando-se para a turma, o professor usa o dedo indicador estendido para desenhar um círculo no ar. Esse gesto reproduz o movimento descrito anteriormente pela fonte das oscilações no aplicativo.</p>                                                                                                                                           |
|  4c                                                                                           | <p>O professor aponta para o estudante que deu a resposta, indicando com esse gesto que ouviu a resposta.</p>                                                                                                                                                                                                                                         |
|  4d                                                                                           | <p>O professor repete o gesto de desenhar o círculo no ar (gesto 4b). Com esse gesto, ele enfatiza o significado do termo “ uma oscilação completa”.</p>                                                                                                                                                                                              |
|  4e                                                                                           | <p>Segurando com a mão direita o pincel na posição vertical, o professor executa com essa mão o movimento que descreve em sua fala. Esse gesto reproduz o movimento da haste do oscilador que aparece na tela do aplicativo projetada no quadro.</p>                                                                                                  |
|  4f                                                                                           | <p>O professor repete o gesto de desenhar o círculo no ar (gesto 4b). Com esse gesto, ele sinaliza que o tempo a que se refere é o tempo de uma oscilação completa.</p>                                                                                                                                                                               |
|  4e<br> 4g | <p>O professor aproxima-se do computador e coloca o dedo indicador sobre a 1ª crista da onda. Com esse gesto, ele indica para onde os estudantes devem voltar suas atenções.</p>                                                                                                                                                                      |
|  4h                                                                                           | <p>Mantendo o dedo indicador na crista da onda, o professor desenha com a mão esquerda um círculo no ar. Com esse gesto, ele enfatiza que o período é o tempo de uma oscilação completa.</p>                                                                                                                                                          |
|  4f<br> 4g | <p>O professor dirige-se para o computador, coloca o a seta do mouse sobre o cronômetro e zera o valor que estava registrado. Em seguida, avança passo a passo a propagação da onda, até o oscilador completar uma volta.</p>                                                                                                                         |
|  4g<br> 4a | <p>O professor vai ao quadro e desenha, com o pincel, uma seta dupla horizontal para indicar a distância percorrida pela onda.</p>                                                                                                                                                                                                                    |

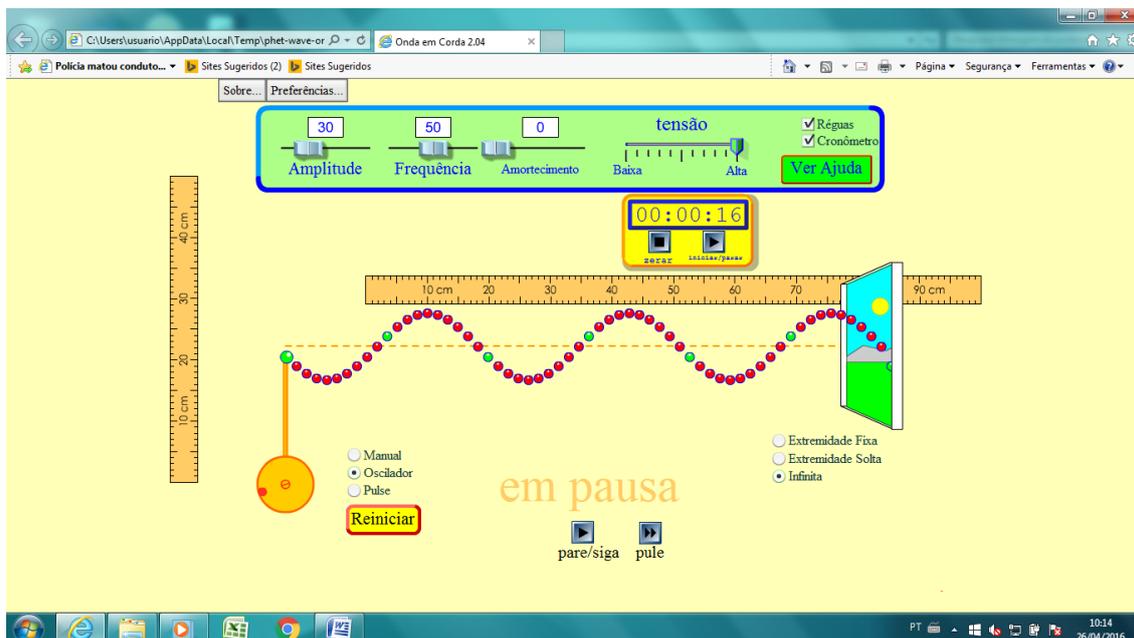
|                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  4h                                                                                         | O professor afasta-se do quadro e volta-se para a turma. Essa combinação de proxêmica e mudança da postura corporal sinaliza a intenção do professor de interagir com a turma.                                     |
|  4i                                                                                         | O professor repete o gesto de desenhar o círculo no ar (gesto 4b). A repetição desse gesto enfatiza que o período é o tempo de uma oscilação completa.                                                             |
|  4i<br> 4b | O professor vai novamente ao quadro e posiciona o pincel sobre a seta dupla que fora desenhada instantes antes e escreve a letra $\lambda$ .                                                                       |
|  4j<br> 4j | O professor volta-se para a turma e levanta a mão direita com três dedos em riste. Esse gesto enfatiza que aquela é uma terceira maneira de definir o comprimento de onda.                                         |
|  4c                                                                                         | O professor vai ao quadro e escreve a definição que está verbalizando. Com essa ação, ele sinaliza para os estudantes que essa é uma definição importante.                                                         |
|  4k                                                                                         | O professor afasta-se do quadro, caminha em direção a um estudante que faz uma pergunta e para diante dele. Com esse comportamento proxêmico, ele sinaliza que ouviu o estudante e deu importância à sua pergunta. |
|  4k                                                                                        | O professor faz o gesto de desenhar círculos no ar com o indicador da mão direita. Dessa vez o gesto faz referência às oscilações ou ciclos de oscilações.                                                         |
|  4l                                                                                       | O professor aponta para o estudante. Esse gesto antecipa uma apropriação que ele faz da fala desse estudante.                                                                                                      |
|  4m                                                                                       | O professor repete o gesto de desenhar círculos no ar (gesto 4k). Desta vez, o gesto faz referência à frequência da onda.                                                                                          |
|  4n                                                                                       | O professor levanta a mão direita com os dedos indicador e polegar formando uma letra u. O espaço entre os dedos identifica um intervalo ao qual o professor também se refere verbalmente.                         |
|  4o                                                                                       | Enquanto mantém os dedos com forma da letra u, o professor descreve um círculo no ar. Com esse gesto, ele faz referência à fonte de oscilações periódicas do aplicativo.                                           |
|  4d                                                                                       | O professor vai ao quadro e escreve, ao lado da terceira definição de comprimento de onda, a expressão $V = \lambda.T$ . Essa ação, indica para os estudantes que essa é uma expressão importante.                 |
|  4p                                                                                       | O professor coloca o dedo indicador sobre as letras $v$ , $\lambda$ e $T$ , quando ele pronuncia, respectivamente, as palavras velocidade, comprimento de onda e período.                                          |
|  4q                                                                                       | O professor aponta para a letra $\lambda$ da expressão, referindo-se à distância percorrida pela onda.                                                                                                             |
|  4r                                                                                       | O professor aponta para a letra $T$ da expressão.                                                                                                                                                                  |
|  4s                                                                                       | O professor aponta novamente para a letra $\lambda$ para se referir ao comprimento de onda.                                                                                                                        |
|  4t                                                                                       | O professor aponta para as letras $v$ , $\lambda$ e $T$ da expressão recém inscrita no quadro repetindo o gesto 4p.                                                                                                |

|                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  4e | <p>O professor envolve a expressão que escrevera há pouco com um retângulo, olha para ela, apaga a expressão com a mão e a reescreve da maneira correta <math>v=\lambda/T</math>. A ação de envolver a expressão com um retângulo, chama a atenção dos estudantes para a importância dessa expressão.</p> |
|  4u | <p>Novamente, o professor aponta, respectivamente, para as letras <math>v</math>, <math>\lambda</math> e <math>T</math>, como nos gestos 4p e 4t.</p>                                                                                                                                                     |
|  4f | <p>Ele escreve no quadro a relação <math>T=1/f</math>.</p>                                                                                                                                                                                                                                                |
|  4g | <p>Ele escreve no quadro a expressão <math>v = \lambda \cdot f</math>. Depois, envolve a expressão com um retângulo e volta-se para a turma.</p>                                                                                                                                                          |
|  4v | <p>O professor vai ao quadro e aponta para as duas equações (<math>v=\lambda/T</math> e <math>v = \lambda \cdot f</math>). Esse gesto dêitico indica para os estudantes a quais equações a fala do professor se refere.</p>                                                                               |

#### 5.3.4. FUNÇÕES DOS MODOS DE COMUNICAÇÃO USADOS NO SEGMENTO

Nesse segmento, o professor usou o aplicativo *Onda em Corda* praticamente com a mesma configuração adotada no segmento da seção anterior. Ele selecionou a opção *extremidade infinita*, utilizou o modo *oscilador* para produzir os pulsos e eliminou o *amortecimento*. Ao longo do segmento, ele fez alterações na amplitude e na frequência das ondas produzidas bem como na tensão aplicada à corda, como também fizera na aula do dia 07/10/13. A principal diferença entre a configuração do aplicativo nesse segmento e a do segmento da seção anterior foi a utilização de réguas e cronômetro durante quase todo o tempo. Dessa forma, o *layout* da tela do aplicativo projetada no quadro teve aspecto semelhante ao mostrado na figura 8. As configurações do aplicativo selecionadas pelo professor estão relacionadas com os significados que nós supomos que ele pretendia compartilhar com os estudantes.

**FIGURA 8:** Captura de tela do aplicativo *Onda em Corda* com as configurações definidas pelo professor no segmento 1 da aula do dia 21/10/2013



Do ponto de vista ideacional, o segmento possibilitou o compartilhamento das seguintes ideias: (i) efeitos de mudanças na tensão aplicada na corda sobre a velocidade das ondas; (ii) ausência de efeitos de mudanças na amplitude e na frequência das oscilações sobre a velocidade das ondas; (iii) definição do comprimento de onda a partir do conceito de fase; (iv) relação entre velocidade, frequência e comprimento de onda.

Do ponto de vista interpessoal, houve várias interações entre o professor e os estudantes. As principais interações ocorreram em SS2 e SS3 e se caracterizaram pela participação voluntária dos estudantes. Em SS2, o questionamento de um estudante sobre um eventual efeito de mudanças na amplitude das oscilações sobre a velocidade das ondas desencadeou uma série de interações entre o professor e outros alunos que conduziram a uma breve discussão sobre ondas eletromagnéticas e dualidade onda-partícula. Em SS2, o professor também usou o aplicativo para atender a uma demanda do para casa que foi reafirmada pelo estudante Eduardo: a investigação de um eventual efeito de mudanças na frequência das oscilações sobre a velocidade das ondas.

O mesmo estudante voltou a interagir com o professor em SS3 e SS4, tanto apresentado questões e fazendo comentários pertinentes ao tema em discussão, quanto manifestando dúvidas sobre assuntos que fugiam aos propósitos da atividade proposta como para casa. O maior nível de interação observado entre o professor e os estudantes nesse segmento,

quando comparado àquele analisado na seção 5.2 deste capítulo, pode ser compreendido quando consideramos que as questões propostas na atividade para casa, geralmente, provocam muitas dúvidas entre os estudantes nos cursos introdutórios de ondulatória.

Continuando a análise da função interpessoal dos modos de comunicação usados no segmento, retomaremos a análise do início dos subsegmentos SS1 e SS2, nos quais o professor descreveu os procedimentos necessários à configuração do aplicativo para obtenção de respostas às questões propostas na atividade de para casa. Essa escolha do professor pode ser um indício da maneira como ele concebe os estudantes. A atividade extraclasse, que era objeto de discussão no segmento, foi a primeira situação em que os estudantes manipularam o aplicativo sem a mediação direta do professor. Sendo assim, supomos que o professor tenha antecipado possíveis dificuldades enfrentadas pelos estudantes para realizar as operações necessárias à realização da atividade para casa e, por isso, insistiu na descrição dessas operações.

Do ponto de vista textual, o início do segmento coincidiu com o início da aula e se deu logo após o professor apresentar a pauta do dia e projetar na lousa a tela do aplicativo *Onda em Corda*. O segmento se encerrou com um levantamento informal, conduzido pelo professor, do número de estudantes que tinham feito a atividade extraclasse. Esse levantamento ocorreu imediatamente antes do professor distribuir para os estudantes uma pequena folha com questões sobre o fenômeno de ressonância, o próximo tema da aula. O segmento aqui analisado constituiu um texto multimodal independente daqueles que podemos identificar nos segmentos posteriores da mesma aula centrados na discussão do fenômeno de ressonância.

Por outro lado, podemos considerá-lo como parte de um grande texto multimodal que retomou os segmentos que constituíram a primeira aula da sequência de ensino sobre ondulatória, ocorrida em 07/10/2013, e analisada na seção 5.2 deste capítulo. O segmento agora analisado resgatou vários conceitos e ideias que constituíram aquela aula. Em SS3 e SS4, por exemplo, o professor retomou o conceito de comprimento de onda e apresentou duas outras maneiras de definir esse conceito. Considerando o segmento atual como parte do grande tecido textual constituído pela sequência de ensino, é possível perceber que ele encerrou a fase introdutória do estudo da ondulatória na qual o professor apresentou todos os principais conceitos e relações que serviram de

base para o estudo dos demais fenômenos ondulatórios que constituíram a sequência de ensino.

### 5.3.5. POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES DO APLICATIVO

Em relação às potencialidades do aplicativo, ficaram novamente evidenciadas, nesse segmento, a facilidade e agilidade proporcionadas por esse recurso no que diz respeito à simulação de diferentes configurações de uma corda e da fonte das oscilações que dão origem às diversas características que podem ser exibidas por ondas transversais. Assim, em SS2, por exemplo, enquanto o professor discutia um eventual efeito de mudanças na amplitude sobre a velocidade das ondas, ele foi interrompido por um estudante que perguntou sobre uma eventual influência da frequência na velocidade. A facilidade de reconfigurar o aplicativo permitiu que o professor, rapidamente, respondesse à questão reapresentada pelo estudante.

Outra potencialidade do aplicativo diz respeito à facilidade de realização de medidas de distância e tempo por meio das quais é possível calcular a velocidade das ondas em diferentes situações. Em SS1, o professor chamou atenção para essa potencialidade quando afirmou que *“tem uma maneira mais fácil de olhar isso (a velocidade de propagação da onda) que é colocar aqui os dois medidores”*.

Em relação às limitações do aplicativo, destaco o fato dele não possibilitar a alteração da densidade linear da corda que pode ser acrescentada à análise realizada na seção 5.2, na qual afirmei que o aplicativo também não permitia a produção de ondas longitudinais como as que foram produzidas pelo professor com o auxílio de uma grande mola metálica. Em SS2, ao negar eventuais efeitos de alterações da frequência e da amplitude na velocidade das ondas, o professor afirmou que *“a velocidade só muda se eu mudar a tensão no meio ou se eu mudar o meio; colocar um meio que tenha mais massa, mais inércia.”*

Ao contrário das outras argumentações do professor, que foram confirmadas pela manipulação do aplicativo, essa afirmação não pôde ser sustentada com o uso desse recurso. Isso nos autoriza a dizer que essa limitação do aplicativo pode ter tido um efeito negativo, do ponto de vista retórico, no compartilhamento entre o professor e os estudantes do conhecimento contido na afirmação acima transcrita. Em outras palavras, essa característica do aplicativo pode exigir do professor a necessidade de recorrer a

outra estratégia retórica, como o discurso de autoridade, ou a realização de experimentos com os objetos reais, para convencer os estudantes de mudanças na densidade linear da corda tem efeitos sobre a velocidade de das ondas.

### **5.3.6. ORQUESTRAÇÃO DOS MODOS DE COMUNICAÇÃO NO SEGMENTO**

Assim como ocorreu no segmento analisado na seção 5.2, a orquestração entre fala e outros modos de comunicação é uma característica textual a ser destacada também nesse segmento. A comunicação multimodal se manteve intensa durante todo o segmento e foi marcada inicialmente pela intensa interação com imagens.

Em SS1, o professor orquestrou o modo interação com imagens (1a) com a fala e com o olhar para descrever os procedimentos de configuração do aplicativo necessários para a discussão das questões propostas na atividade para casa que foram retomadas no segmento analisado aqui. Ainda nessa enunciação, o professor interagiu com imagens outras 8 vezes, todas por meio do mouse, sempre descrevendo verbalmente as operações que realizava, conferindo, assim, um caráter procedimental à sua comunicação com os estudantes. Esse mesmo tipo de enfoque procedimental pôde ser observado nas interações com imagens 3a, 4a, 4b, 4c e 4d.

A gesticulação empreendida pelo professor foi bastante tímida em SS1. Contudo, ela sofreu um grande incremento em SS2 e SS4. Nesses subsegmentos da aula houve a predominância de gestos representacionais de ação. Os gestos 2i, 2l e 2q, foram empregados para enfatizar o conceito de frequência e tiveram seus golpes coincidindo com a enunciação da palavra “frequência”.

Todas as vezes que o professor se referiu à amplitude da onda, ele produziu variações de um mesmo gesto representacional de ação (gestos 2a, 2e e 2h) durante o qual ele movimentava o braço verticalmente para cima para destacar o fato de que a amplitude está relacionada ao deslocamento vertical dos pontos da corda atingidos pela onda. O gesto 2h, cujo golpe coincidiu com a enunciação do termo “tamanho do pulso”, contribuiu também para esclarecer o sentido atribuído à palavra “tamanho”. Nessa situação essa palavra foi empregada como sinônimo de amplitude, um sentido que foi reforçado pela repetição do gesto anteriormente associado à palavra amplitude. Essa função de desambiguação cumprida pelo gesto foi importante, uma vez que a palavra

“tamanho” poderia ser considerada como sinônimo de “comprimento do pulso”, tal como ocorreu no subsegmento SS1 durante a interação com imagens 1c.

Em SS4, o conceito de período foi reforçado pela repetição de um mesmo padrão de gesto de ação todas as vezes que o conceito era enunciado pelo professor. Os gestos 4b, 4d, 4h e 4i tiveram golpes coincidindo com o instante em que o professor falava a palavra “período”. Para produzir esses gestos o professor descrevia, como dedo indicador da mão direita, um círculo no ar, reproduzindo um ciclo do movimento do oscilador exibido na tela do aplicativo. Assim, ele reforçava a ideia de que o período é o tempo de 1 oscilação. Uma variação do padrão de gesto descrito acima também foi empregada para enfatizar o conceito de frequência (gestos 4k, 4m e 4o). Nesse caso, o professor descrevia mais de um círculo no ar no mesmo instante em que pronunciava termos como “quantidade de oscilações” ou “frequência”.

Os gestos representacionais de ação foram empregados também pelos estudantes. Nos dois minutos finais do subsegmento SS2, por exemplo, o estudante Eduardo produziu os gestos de ação 2w e 2z, para complementar o sentido das questões que ele apresentava ao professor. O professor, por sua vez, para responder aos questionamentos do estudante, realizou vários gestos de ação (2x, 2δ e 2ε), intercalados por gestos de descrição figurativa (2α) e gestos dêiticos (2β), além de gestos que cumpriram mais de uma função. O gesto 2v, por exemplo, desempenhou tanto a função de modelagem, uma vez que as mãos do professor foram usadas como ícones de partículas, quanto a função de ação, já que com as mãos ele também reproduziu o padrão de movimento ao qual se referia verbalmente. A grande gesticulação empreendida pelo professor nessa interação com o estudante pode ser interpretada pela ausência de outros recursos mediacionais, além dos modos de comunicação verbal e gestual, para mediar a interação com os estudantes. Tendo em vista que os questionamentos do estudante se afastavam do tema em debate naquele segmento da aula, o aplicativo ou os artefatos para experimentos dos quais o professor dispunha não eram para ele responder às demandas do estudante.

Ainda em relação à gesticulação realizada pelo professor, identificamos o emprego de muitos gestos dêiticos, sobretudo em SS4, quando o professor orquestrou fala, inscrições no quadro e gestos dêiticos para explicar a equação que relaciona velocidade, frequência e comprimento de onda.

## 5.4. SEGMENTO 2 DA AULA DO DIA 04/11/2013

### 5.4.1. DESCRIÇÃO DA AULA

Como de costume, quando os estudantes chegaram à sala, já encontraram o tema da aula no quadro: interferência. Abaixo dessa palavra havia dois adjetivos (construtiva e destrutiva) que, posteriormente, foram usados, pelo professor, para o registro de ideias e afirmações construídas a partir da manipulação de uma mola e do uso do aplicativo *Onda em Corda*. Sobre as carteiras, os estudantes encontraram uma atividade impressa (ANEXO IV) onde se lia o título: Interferência de ondas.

Tão logo a maioria dos estudantes chegou, o professor iniciou a aula. Primeiramente, ele afirmou que os estudantes deveriam responder, no caderno, às questões propostas no roteiro da atividade. Disse se tratar de uma atividade sobre a interferência de ondas baseada em alguns fenômenos que ele mostraria.

Em seguida, o professor iniciou a leitura do roteiro de atividade. Assim que leu a primeira questão, ele voltou a utilizar uma longa mola metálica, da qual fez uso, pela primeira vez, durante a primeira aula da sequência de ensino sobre ondulatória. Nessa primeira ação, o professor produziu pulsos que eram refletidos na outra extremidade da mola em duas situações: (i) com a extremidade fixada em um suporte; (ii) com a extremidade livre para oscilar. A reflexão de pulsos nas duas situações citadas acima era o tema da primeira questão.

Após utilizar a mola, o professor usou o aplicativo para simular as mesmas situações (i) e (ii). Isso ocorreu no trecho da aula que será transcrito nesta seção e, por essa razão, não descreverei esse segmento aqui.

Na sequência, o professor começou a responder às questões 5 e 6 do roteiro usando o aplicativo *Onda em Corda*. Disse aos estudantes que com esse recurso era difícil visualizar o que acontecia quando duas ondas contínuas se encontravam. Diante disso, ele resgatou com os alunos a experiência sobre ondas estacionárias que tinha sido realizada há alguns dias no laboratório e, simulou no aplicativo, as ondas estacionárias que os estudantes tinham observado naquela ocasião. Após simular os três primeiros modos de vibração da corda, o professor voltou a manipular a mola para produzir esses mesmos modos. Tanto a simulação quanto a mola não possibilitavam compreender o fenômeno como consequência da superposição de ondas de sentidos contrários que se

propagam no mesmo meio. Para superar essa limitação dos recursos mediacionais que já havia utilizado na aula, o professor usou o aplicativo *Standing Wave*<sup>6</sup>, que mostra passo a passo o processo de superposição de ondas periódicas recém produzidas e já refletidas em um mesmo meio. A formação da onda estacionária aparece no aplicativo como resultado dessa superposição.

A questão 7 do roteiro de atividade solicitava uma explicação para a formação de ondas estacionárias e pôde ser respondida a partir do aplicativo *Standing Wave*. Durante o uso desse aplicativo para a construção da explicação solicitada pelo roteiro, surgiram algumas questões interessantes, propostas pelos estudantes, tais como: i) se a onda vai perdendo energia, como se forma a onda estacionária? ii) por que a onda estacionária se forma só em determinadas frequências? Essas questões foram respondidas verbalmente pelo professor, tendo em vista que o aplicativo *Standing Wave* não permite introduzir amortecimento ou variar a frequência das ondas nele representadas.

Para responder às questões 8 e 9 propostas no roteiro, cujo tema era a interferência entre ondas sonoras, o professor realizou um experimento usando dois alto falantes. O ajuste do equipamento levou cerca de cinco minutos, tempo suficiente para os estudantes dispersarem suas atenções e promoverem uma ruidosa conversa. Assim que resgatou a atenção dos estudantes, o professor detectou um problema técnico no equipamento que levou outros cinco minutos para ser resolvido. Mais uma vez, os estudantes iniciaram uma ruidosa conversa.

Quando, finalmente, o problema técnico foi resolvido, o professor retomou a discussão das questões 8 e 9. Ele ligou inicialmente um único alto falante, produzindo um som de 1kHz, e em seguida ligou o outro alto falante de duas formas distintas: no primeiro caso o segundo alto falante foi ligado em fase com o primeiro (houve um reforço do som) e no segundo caso ele foi ligado em oposição de fase (houve uma quase anulação do som). O professor, então, explicou o fenômeno observado ao resgatar conceitos e modelos apresentados nas fases anteriores da aula com o auxílio dos recursos acima mencionados.

Em seguida, para responder à questão 10, que abordava a interferência de ondas na água, o professor ligou o projetor e passou a explorar o terceiro aplicativo que foi usado

---

<sup>6</sup> Este aplicativo está disponível em <http://www.walter-fendt.de/ph6en/>

na aula (*Interferência de ondas*<sup>7</sup>). Com esse último aplicativo é possível simular interferências de ondas sonoras, de ondas na água e de ondas luminosas. Ao falar sobre a interferência de ondas na água, o professor informou que havia a possibilidade de realizar a experiência usando equipamentos reais reunidos em uma montagem conhecida na Física Escolar como cuba de ondas. Ao apresentar essa informação, ele destacou a vantagem do uso do aplicativo *Interferência de ondas*, uma vez que o uso de uma cuba de ondas demandaria muitos ajustes e, conseqüentemente, muito tempo para montagem do equipamento. O incidente ocorrido na montagem dos equipamentos usados para produzir interferência entre ondas sonoras provenientes de dois alto-falantes não foi mencionado nesse momento, mas pode ter contribuído contextualmente para dar sentido a essa afirmação.

O professor projetou a interferência entre ondas produzidas na água tal como representadas no aplicativo e fez vários rabiscos no quadro para indicar em quais regiões ocorriam interferências construtivas e destrutivas. Ele dirigiu perguntas aos estudantes e, após obter respostas, inscreveu as palavras destrutiva e construtiva nas regiões do quadro associadas a essas duas formas de interferência.

Para reforçar os significados das palavras *construtiva* e *destrutiva*, o professor usou um recurso do aplicativo que permite acrescentar detectores capazes de produzir gráficos que mostram a variação do nível da água em função do tempo. Ao descrever esses gráficos, o professor combinou vários gestos para auxiliar os estudantes a interpretá-los.

O último fenômeno estudado na aula do dia 04/11/2013 estava relacionado à questão 11 do roteiro e tratava da interferência entre ondas luminosas. Antes de reproduzi-lo, o professor desenhou no quadro o aparato experimental que ele utilizaria em seguida, provavelmente, com o intuito de ajudar os estudantes a fazer um registro mais completo da atividade no caderno. Um pouco antes de desenhar a montagem, ele afirmou que não seria possível produzir interferência luminosa usando lanternas. Ao realizar o experimento, o professor encontrou uma dificuldade que comprometeu a visualização do fenômeno por parte dos estudantes: a sala estava muito clara. Com isso, vários estudantes levantaram-se e aproximaram-se da montagem experimental, o que comprometeu ainda mais a visualização do fenômeno por parte do restante da turma. Os

---

<sup>7</sup> Este aplicativo está disponível em [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/legacy/wave-interference](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/wave-interference)

estudantes só conseguiram ver o fenômeno quando o professor substituiu as fendas usadas inicialmente por outras mais estreitas e passou a projetar o LASER na lousa, ao invés de projetar na parede lateral da sala, como havia feito inicialmente.

Para ajudar os estudantes a compreender o fenômeno produzido a partir da interceptação da luz LASER pelas duas fendas, o professor voltou a projetar no quadro o aplicativo usado antes para mostrar a interferência de ondas na água e passou a comparar a interferência entre o LASER proveniente das duas fendas e a interferência na água. Embora o aplicativo permitisse simular a interferência de ondas luminosas, o professor não fez uso desse recurso.

Mesmo sem ter entrevistado o professor para saber, entre outras coisas, qual foi a razão dessa escolha, nós podemos compreendê-la ao estudar as inscrições didáticas criadas pelo aplicativo *Interferência de ondas*. Ao fazermos isso nós observamos que as inscrições usadas na representação da interferência na água são bastante realistas, no sentido de serem visualmente muito similares à projeção desse fenômeno que podemos obter ao usar uma cuba de ondas. O mesmo não acontece no caso das inscrições usadas na representação da interferência entre ondas luminosas. Elas são visualmente muito semelhantes às que o aplicativo produz para representar a interferência de ondas na água e muito diferentes de qualquer observação que possamos fazer ao utilizar aparatos experimentais para produzir interferência entre ondas luminosas.

Nos últimos 10 minutos da aula, o professor dedicou-se à discussão da última questão proposta no roteiro da atividade, que tratava da localização de pontos nodais e ventrais como o resultado da interferência entre ondas que se propagam em uma e em duas dimensões. Para isso, ele usou uma apresentação de slides feita no *Microsoft PowerPoint*, na qual eram expostos, na forma de animações passo a passo, instantes sucessivos dos seguintes casos particulares da interferência entre ondas: i) observador equidistante de duas fontes sonoras operando em fase e gerando ondas em uma mesma direção;

ii) observador equidistante das mesmas duas fontes operando em oposição de fase;  
iii) duas fontes sonoras operando em fase e gerando ondas que se propagam em duas direções com o observador localizado em pontos nos quais a diferença das distâncias entre ele e as fontes ( $D_2 - D_1$ ) é igual a meio comprimento de onda das ondas sonoras. Após a apresentação desses casos particulares, o professor exibiu um slide em que

apareciam as condições a serem satisfeitas para a ocorrência de interferência construtiva e destrutiva quando duas fontes operam em fase:

|                                                                                    |                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| $D_2 - D_1 = n\lambda$ $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ <p>Há interferência construtiva</p> | $D_2 - D_1 = (n/2)\lambda$ $n = 1, 3, 5, \dots$ <p>Há interferência destrutiva</p> |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|

#### 5.4.2. DESCRIÇÃO DO SEGMENTO

O quadro a seguir apresenta a descrição do segundo segmento da aula do dia 04/11/2013, que nós dividimos em seis segmentos (ver quadro 13). O segmento durou, aproximadamente, 15 minutos e foi dedicado ao estudo da reflexão e da superposição de pulsos produzidos com o aplicativo *Onda em Corda*. Esse segmento começou logo após a realização do experimento com a mola metálica e terminou imediatamente antes do estudo sobre ondas estacionárias.

**QUADRO 19: Descrição do segmento 2 da aula do dia 04/11/2013**

|                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ação complexa</b>      | Simulação da reflexão e da superposição de pulsos ondulatórios a partir das condições descritas em quatro questões propostas em um roteiro de atividade.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Propósito</b>          | Explicitar e interpretar processos inobserváveis ou imperceptíveis a olho nu que ocorrem durante a reflexão e a superposição de pulsos transversais.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Ações subsidiárias</b> | 1-Reprodução, no aplicativo, do fenômeno de reflexão de pulsos em uma corda com extremidade fixa e com extremidade móvel.<br>2-Explicação das causas da inversão de fase na reflexão de pulsos em extremidades fixas.<br>3- Produção, no aplicativo, de dois pulsos idênticos caminhando em sentidos opostos para explicitação do fenômeno da superposição.<br>4- Produção, no aplicativo, de dois pulsos invertidos com amplitudes iguais e sentidos opostos para discutir o que acontece com os pulsos logo após a superposição.<br>5- Produção, no aplicativo, de dois pulsos de amplitudes e fases diferentes caminhando em sentidos opostos. |

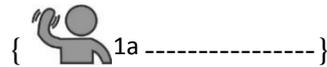
|                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Recursos mediacionais</b>                | 1 e 2- Modo visual imagens em movimento; modo verbal oral; modo gestual.<br>3-Modo visual imagens em movimento; modo de comunicação interação com imagens; modo verbal oral; modo gestual.<br>4- Modo visual imagens em movimento; modos verbais oral e escrito; modo gestual.<br>5- Modo visual imagens em movimento; modo verbal oral e modo gestual.<br>6- Modos verbais oral e escrito; caderno e roteiro com as questões.                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Divisão do trabalho entre os agentes</b> | O professor utiliza as diversas funções e recursos do aplicativo, lê as questões do roteiro, pede aos estudantes para fazerem previsões sobre o que vai ocorrer na simulação, repete em voz alta para toda a turma as previsões feitas por alguns estudantes, registra conceitos chave no quadro, coíbe conversas paralelas dirigindo perguntas aos estudantes envolvidos nessas conversas, cobra verbalmente dos estudantes o registro no caderno das respostas às questões do roteiro. Os estudantes acompanham a caracterização dos fenômenos, fazem perguntas e comentários em voz alta, fazem previsões, registram as respostas nos cadernos. Alguns se envolvem em conversas alheias ao tema da aula. |
| <b>Cenário</b>                              | A sala estava com a configuração de rotina: carteiras enfileiradas e voltadas para o quadro. Entretanto, havia um corredor central um pouco mais largo que o professor havia utilizado para manipular a mola no primeiro segmento da aula. Os estudantes estavam bem falantes. Um deles adentrou a sala durante o segundo segmento. O projetor estava ligado e as luzes apagadas, porém a sala não estava escura. Na transição do segmento1 para o segmento 2, houve um aumento do nível de ruído na sala devido a conversas e brincadeiras. O professor precisou resgatar a atenção da turma para iniciar o segmento. Isso levou cerca de 2 minutos.                                                       |

### 5.4.3. TRANSCRIÇÃO DO SEGMENTO

#### **Subsegmento SS1 para o qual atribuímos a intenção retórica de estudo da reflexão de um pulso ondulatório**

No início de SS1, o *data show* estava ligado e projetava no quadro as imagens em movimento produzidas pelo aplicativo, cuja tela foi capturada e é apresentada mais adiante na seção 4.4.1. Nesse momento, o professor estava na frente da sala, ao lado do computador, com o torso e o rosto voltados para a turma.

11'44'' - Professor: *Vamos usar o simulador/ no simulador fica mais visível quê que*



*acontece quando eu tenho um pulso e a extremidade tá fixa/ ele inverte/ volta pra*



1a

-----



1a

-----

*baixo (6 s)/ Quando a extremidade está solta/ com a extremidade solta / na extremidade*



1b



1b



1b

-----



1c

-----

*solta ele vai e volta no mesmo / é:: / não inverte a amplitude / fica na mesma direção.//*



1c

-----



1d

-----



1d

-----

### Descrição das ações e gestos



1a

Com o braço estendido, o professor aponta o dedo indicador para o local onde fora realizada a demonstração com a mola. Ao mesmo tempo, ele oscila o dedo indicador reproduzindo o movimento de oscilação da mola.



1a

O professor vira para o computador e ajusta a configuração da simulação a fim de produzir um pulso em uma corda com a extremidade fixa.



1a

O professor se afasta do computador e se aproxima da projeção. Com esse comportamento proxêmico, ele sinaliza para os estudantes sua intenção de interagir com a imagem projetada no quadro.



1b

O professor aponta para o pulso ondulatório projetado no quadro e desloca rapidamente a mão para baixo em sincronia com o movimento realizado pelo pulso que sofre uma inversão após ser refletido na extremidade fixa da corda. Esse gesto reproduz o movimento do pulso e serve para dar destaque à inversão de fase.



1b

O professor se afasta da projeção e se aproxima do computador. Esse comportamento proxêmico assinala aos estudantes qual será sua próxima ação: alterar a configuração da simulação para dar sequência às investigações propostas no roteiro.



1b

O professor altera a configuração da simulação para extremidade livre. Com essa ação o professor reforça sua fala, exibindo na tela o fenômeno que descreve em palavras.



1c

O professor se afasta do computador e se aproxima da projeção. Com isso, ele comunica sua intenção de interagir com a imagem projetada no quadro.



1c

O professor aponta para a extremidade solta da corda representada pelo aplicativo, no momento em que o pulso a atinge. Nesse instante, ele movimentava o dedo para cima e para baixo acompanhando o movimento da extremidade livre da corda. Em seguida, ele desloca o dedo na direção horizontal de forma a indicar o sentido de propagação do pulso refletido. Esse gesto cumpre uma função dêitica ao destacar o local da reflexão do pulso, mas também uma função de ação ao reproduzir os deslocamentos, tanto da extremidade da corda, quanto da energia transmitida pelo pulso refletido.



1d

O professor se afasta da projeção e se volta para a turma. Com essa ação, o professor chama a atenção dos estudantes para si próprio e para o gesto 1d que fará logo em seguida.

|                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  1d | Colocando a palma da mão direita sobre o dorso da mão esquerda virada para baixo, na horizontal, o professor movimentava sua mão direita para cima e para baixo para indicar que o pulso refletido ficou no mesmo sentido, ou seja, não houve inversão de fase. Ele repete três vezes esse gesto. |
|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### Subsegmento SS2 para o qual atribuímos a intenção retórica de explicitação das razões pelas quais ocorre inversão de fase no pulso refletido

O professor encontrava-se na frente da sala, com o corpo voltado para a turma.

12'32'' - Antônio: *Por que no outro ele inverte o sentido?//*

12'33'' - Professor: *Boa pergunta / você vai responder pra mim. (5s)/ O quê que*

{  2a  2a----- } {  2a-----

*acontece na hora que ele chega aqui? / e/ tá fixa? (7s)/ Na hora que a extremidade está*

-----  2a } {  2b----- } {  2c-----

*fixa, o quê que acontece? Essa bolinha/ faz uma força aqui pra cima/ né/ como tá*

 2b } {  2c \*\*\*\*\* } {  2a } { ~~~~

*preso/ a parede faz uma força sobre a bolinha pra baixo/ então quê que acontece?/*

 2d ~~~~  2c \*\*\*\*\*  2b \*\*\*\*\*

*Acaba aparecendo uma força sobre a bolinha/ aqui pra baixo/ e faz com ela vá pra*

\*\*\*\*\*  2e } {  2d --

*baixo invés de pra cima/ Então nesse caso (15s)/ nesse caso/ a lá o/ ele puxa o pulso*

 2f----- } {  2b-----

*para baixo/ e faz o pulso inverter/ tá/ quando a extremidade tá solta/ isso não*

----- } {  2e-----

*acontece?/ Ele vai/ depois volta/ não tem uma força pra puxar ele pra baixo/*

-----  2g \*\*\*\*\*  2h \*\*\*\*\* } { ~~~~~~  2i }

*pra fazer a reação.//*

| Descrição das ações e gestos                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  2a   | O professor olha para o estudante que fez a pergunta e, em seguida, aproxima-se do computador. Ele altera a configuração do aplicativo para que a extremidade da corda fique fixa. Depois, congela a imagem do pulso no instante em que ele atinge a extremidade fixa.                                                                                            |
|  2a   | Essas ações combinadas com a fala sinalizam que o professor ouviu a dúvida do estudante e prepara-se para respondê-la.                                                                                                                                                                                                                                            |
|  2a   | O professor afasta-se do computador e aproxima-se da imagem projetada no quadro. Esse comportamento proxêmico indica a intenção do professor de interagir com a imagem.                                                                                                                                                                                           |
|  2a   | O professor aponta para a imagem da extremidade fixa. Esse gesto cumpre uma função dêitica ao destacar que o local em que o pulso incidiu é uma extremidade fixa.                                                                                                                                                                                                 |
|  2b   | O professor afasta-se da projeção e se aproxima da turma. Com esse comportamento proxêmico, o professor se prepara para socializar com toda a turma a dúvida do estudante.                                                                                                                                                                                        |
|  2c   | O professor aproxima-se da projeção e aponta novamente para a extremidade fixa. A repetição dessas ações, já realizadas anteriormente (proxêmica e gesto 2a), sinaliza para a turma que a questão apresentada pelo estudante passou a fazer parte da pauta da aula.                                                                                               |
|  2b   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|  2c   | O professor coloca o dedo sobre uma bolinha que representa a extremidade da corda que está fixa. Mantém o dedo nessa posição enquanto diz que a extremidade da corda (a bolinha) faz uma força na parede para cima. A sustentação desse gesto serve para destacar o agente que exerce a força para cima na parede.                                                |
|  2a | Com os pés, o professor dá um pequeno impulso em seu corpo para cima, no mesmo momento em que fala que há uma força para cima agindo sobre a extremidade da corda.                                                                                                                                                                                                |
|  2d | O professor afasta o dedo do quadro e fecha bruscamente a mão que apontava para a extremidade da corda. O golpe desse gesto ocorre no instante em que o professor profere a palavra “preso”. Em seguida, repete novamente o gesto 2c, porém apontando para o ícone que representa a extremidade fixa (ícone de uma garra tipo sargento).                          |
|  2b | O professor movimenta seu corpo ligeiramente para baixo no instante em que diz que a parede exerce uma força para baixo. Essa mudança de postura corporal complementa a fala do professor e ocorre durante a sustentação do gesto 2c descrito na linha acima deste quadro.                                                                                        |
|  2e | O professor movimenta para baixo a mão que aponta para a extremidade da corda. Esse gesto, tanto reforça o sentido da força que atua sobre extremidade da corda, quanto constitui um retorno à posição.                                                                                                                                                           |
|  2d | O professor afasta-se da projeção e caminha para perto do computador. Essa proxêmica antecipa e indica a ação de avançar a propagação do pulso que estava paralisada, a fim de exibir o fenômeno que ele está em pauta. Enquanto se desloca para o computador, o professor movimenta a mão que antes apontava para a extremidade da corda para baixo e para cima. |
|  2f | Faz esse gesto para reforçar a explicação da inversão de fase durante a reflexão do pulso.                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|  2b | O professor altera a configuração do aplicativo e sincroniza operações e descrições verbais dessas ações como o avanço do pulso, passo a passo, até que ele atinja a extremidade fixa da corda e sofra uma inversão.                                                                                                                                              |
|  2e | O professor afasta-se do computador e volta-se para a turma. Com esse comportamento proxêmico, ele indica aos estudantes que vai explicar o fenômeno mostrado na simulação.                                                                                                                                                                                       |

|                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  2g<br> 2h | <p>O professor movimenta o braço direito para cima e o sustenta nessa posição por alguns segundos. Em seguida, movimenta o mesmo braço para baixo para, novamente, sustenta-lo nessa posição. Com esses gestos, o professor reproduz o comportamento do pulso ondulatório quando ele atinge a extremidade livre e é refletido.</p> |
|  2i                                                                                         | <p>O professor movimenta os dois braços para baixo produzindo um gesto de ação com o qual ele representa a força que atuaria na extremidade da corda se a extremidade estivesse fixa, como mostrado na interação com imagens 2b.</p>                                                                                               |

### Subsegmento SS3 para o qual atribuímos a intenção retórica de sistematização da explicação dada nos subsegmentos anteriores

O professor encontrava-se na frente da sala, voltado para a turma, segurando em uma das mãos a folha com o roteiro da atividade.

14'00" - Professor: *Então/ resposta/ é:./ Podemos dizer que a reflexão do pulso*



*na extremidade da corda cria um pulso que caminha no sentido oposto ao incidente?/*



*É/ mas o resultado final/ é como se na hora que ele chega aqui o/ a parede aqui o/*



*criasse um outro pulso/ que vai na direção contrária / então/ eu posso pensar na*



*reflexão/ como se fosse a criação de um pulso/ que caminha na direção contrária/*

\*\*\*\*\* ~~~~~ } {  3d }

*tá? (4s)/*

| Descrição das ações e gestos                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  3a                                                                                           | <p>O professor dirige o olhar para a folha da atividade, procurando a questão a ser respondida. Essa ação indica para os estudantes que o professor encerrou a explicação da dúvida manifestada pelo estudante no subsegmento SS2 e vai se dedicar a uma questão do roteiro.</p>                                       |
|  3a                                                                                           | <p>O professor dirige-se para o computador sinalizando, com esse comportamento proxêmico, que vai alterar a configuração do aplicativo.</p>                                                                                                                                                                            |
|  3a<br> 3b | <p>O professor produz um novo pulso, congela a imagem e aponta com o mouse para a extremidade fixa da corda no instante em que diz as palavras “<i>chega aqui o</i>”. Nessa interação com a imagem, a ação com o mouse cumpre uma função dêitica ao indicar para os estudantes o local em que o pulso é refletido.</p> |

|                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  3b                                                                                         | O professor aproxima-se da turma e indica com essa ação que vai responder a questão do roteiro.                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|  3a<br> 3b | O professor faz um movimento de oscilação transversal com a mão direita tendo o antebraço direito posicionado na horizontal e, aproximadamente, na altura do peito. Em seguida, movimenta o braço direito horizontalmente para a esquerda. Esses gestos cumprem uma função de ação ao reproduzir, tanto o movimento de oscilação, quanto a propagação do pulso ondulatório. |
|  3c<br> 3d | O professor oscila a mão direita e, no instante em que profere a palavra “pulso”, prepara o segundo gesto no qual estende o braço esquerdo e movimenta a mão direita ao encontro da mão esquerda. Esses gestos cumprem as mesmas funções representacionais de ação dos gestos 3a e 3b.                                                                                      |

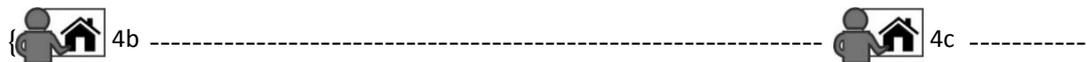
### Subsegmento SS4 para o qual atribuímos a intenção retórica de estudo da superposição de dois pulsos idênticos

O professor encontrava-se na frente da sala, voltado para a turma. Ele olha a folha de atividade e começa a falar, gesticular e agir como mostra a transcrição a seguir.

14’48” - Professor: *E aí eu posso fazer uma coisa interessante!// Eu posso/ ver o quê*



*que acontece/ quando eu tenho dois pulsos/ que se encontram/ deixa eu fazer de um*



*jeito mais fácil/ vou criar um pulso/ vou fazer o outro pulso(4s)/ deixa eu fazer primeiro*



*sem/ sem inversão/ um pulso (5s)/ e criar o outro pulso/ e eu vou perguntar o seguinte/*



*pro Tiago / ele tá doido pra responder/ hein Tiago?!/ Você não está doido pra*



*responder?*

----- }

15’52” – Tiago: *Não, não obrigado.*

15’53” - Professor: *Quê que acontece/ é:./ quê que acontece quando dois pulsos*



idênticos/ tá/ idênticos mesmo/ mesma altura/ mesma velocidade/ caminham um na  
 ----- } { ~~~~~  4a ----- ~~~~~  4b\*\*\*

direção do outro/ e se encontram?/[nada]/ ((Eduardo se manifesta)) Esses dois  
 \*\*\*\*\* } {  4c ~~~

pulsos aqui o/ na hora que eles se encontram/ quê que acontece com eles?  
 ~~~  4c ----- } {  4d ----- }

16'18" - Tiago: *Eles se anulam?*

16'21" - Professor: *Se anulam?*



16'23" - Eduardo: *Nada.*

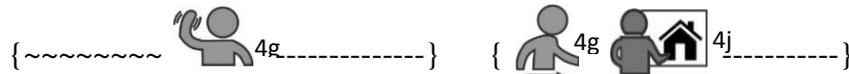
16'24" - Professor: *Acontece nada? (6s)/ Vão bater e voltar?/ Bem/ vamos ver/ se eu*



*ir aqui ponto a ponto/ oh/ passo a passo/ na hora que ele chega e encontra ele se*  
 -----

*sobrepõe completamente/ acaba que um soma/ um vai se somado no outro/ a*  
 ----- } {  4f  4f \*\*\*\*\* ~~~~~  4f ----- }

*amplitude vai ficar duas vezes maior/ e depois/ quê que acontece?//*



17'17" - Antônio: *Separa novamente?*

17'18" - Professor: *Separa novamente/ né?/ Então eles se somam/ e depois voltam a*



*andar do mesmo jeito/ tá?*

----- }

| Descrição das ações e gestos  |  |
|---|--|
| <br>4a   | O professor dirige-se para o computador sinalizando com esse comportamento proxêmico que vai alterar a configuração da simulação. Produz uma crista e um vale que se propagam em sentidos opostos; em seguida, congela a imagem.   |
| <br>4b   | Avança passo a passo a nova imagem configurada: uma crista e um vale caminhando em sentidos opostos. Porém, interrompe a propagação e reinicia a simulação. Essa ação, coordenada à fala do professor, sinaliza para os estudantes que ele cometeu algum engano.   |
| <br>4c   |  |
| <br>4d   | O professor produz uma crista na simulação e congela a imagem logo após ela ser refletida na extremidade fixa. Produz outra crista e avança a simulação. Verifica que a primeira crista sofreu inversão de fase e que, conseqüentemente, a imagem na tela do aplicativo exibia uma crista e um vale caminhando em sentidos opostos. Essas ações acarretam a mudança de olhar 4a. |
| <br>4e   |  |
| <br>4a   | O professor olha para a folha da atividade e interrompe a propagação dos pulsos. Essas ações comunicam aos estudantes que houve algum engano por parte do professor.   |
| <br>4f   | O professor reinicia o aplicativo e altera a configuração para extremidade livre. Essa ação confirma que um engano na configuração do aplicativo foi cometido.   |
| <br>4g  | Produz uma crista na simulação e a avança, passo a passo, até ela atingir a extremidade livre da corda e ser refletida. Em seguida, produz outra crista e congela a imagem instantes antes das duas cristas se encontrarem. A ação de congelar a imagem, combinada à fala, assinala a intenção do professor dirigir alguma questão aos estudantes.                               |
| <br>4h |  |
| <br>4b | Dá alguns passos em direção a um estudante que estava desatento. Com essa ação, o professor chama a atenção dos estudantes para si próprio e para o estudante desatento.   |
| <br>4b | Desloca o olhar para a folha da atividade e lê a pergunta 2. Ao olhar para a folha, o professor comunica aos estudantes que vai discutir mais uma questão do roteiro.  |
| <br>4c | Volta o olhar para o estudante desatento. A mudança de olhar da folha para o estudante indica que o professor espera uma resposta.   |
| <br>4a | Olhando para a turma, levanta os braços mantendo as mãos na horizontal. Movimenta as mãos para cima e para baixo, cessando o movimento quando elas ficam no mesmo nível. Faz esse gesto para indicar alturas iguais.   |
| <br>4b | Com os braços abertos e com as mãos na altura dos ombros, movimenta as mãos horizontalmente em sentidos opostos, levando uma ao encontro da outra. Trata-se de um gesto de ação que reproduz a propagação dos pulsos em sentidos opostos.  |
| <br>4c | Aproxima-se da projeção indicando, com essa proxêmica, que vai interagir com a imagem projetada no quadro.   |
| <br>4c | Aponta para a imagem congelada dos pulsos. Coloca o dedo sobre um dos pulsos e o desliza, horizontalmente, indicando que o pulso vai se encontrar com o outro. Esse gesto cumpre a função de reproduzir o movimento que o pulso descreverá quando a imagem for descongelada.   |
| <br>4d | Volta-se novamente para o mesmo estudante para o qual se dirigiu na proxêmica 4b. Essa ação tem função equivalente à descrita na mudança de olhar 4c.  |

|  |  |
|--|--|
|  4d   | Levanta os ombros e as duas mãos abertas com as palmas voltadas para cima para realizar um gesto indicativo de dúvida. Com esse gesto pragmático de modalização, o professor indica aos estudantes que vai manter a questão em debate.   |
|  4a   | Vira para outro estudante mantendo o gesto 4d. Essa ação indica que outros estudantes, além daquele ao qual o professor se dirigiu inicialmente, também estão autorizados a participar do debate.  |
|  4a   | Olha para a turma procurando novas manifestações ((um estudante no fundo da sala, faz um gesto indicando que os pulsos vão bater e voltar)).   |
|  4e   | Leva as mãos fechadas de encontro uma com a outra e afasta as mãos, em seguida, para indicar o movimento de bate e volta e, assim, reproduzir o gesto feito por um estudante.  |
|  4e   | Aproxima-se do computador, avança os pulsos, passo a passo, e congela a imagem no instante em que os pulsos estão superpostos. A ação de congelar a propagação dos pulsos indica para os estudantes que o professor vai dar a resposta para a pergunta que fora dirigida ao estudante desatento. |
|  4i   |  |
|  4f   | Afasta-se do computador e se volta para a turma. Essa ação, além de comunicar a intenção do professor de socializar a explicação do fenômeno com toda a turma, corresponde à fase de preparação do gesto 4f realizado em seguida.  |
|  4f  | Desloca horizontalmente as mãos encurvadas, com as palmas voltadas para baixo, uma ao encontro da outra. Com esse gesto, que é repetido duas vezes, o professor reproduz o encontro dos dois pulsos ondulatórios.  |
|  4g | Eleva as duas mãos encurvadas, colocadas uma mão sobre a outra, indicando, dessa forma, o aumento da amplitude do pulso.   |
|  4g | Aproxima-se do computador. Esse comportamento proxêmico comunica aos estudantes que o professor vai interagir com a imagem e dar sequência à propagação dos pulsos que estava congelada.   |
|  4j | Avança os pulsos, passo a passo, e congela a imagem imediatamente após os pulsos se separarem. Em seguida, volta-se novamente para a turma.  |
|  4h | Faz um gesto semelhante ao gesto 4f. Sobrepõe as duas mãos levemente encurvadas e com as palmas voltadas para baixo. Esse gesto de modelagem reforça, mais uma vez, o fenômeno da superposição dos pulsos ondulatórios.  |
|  4i | Movimenta as mãos que estavam sobrepostas, separando-as. A mão direita movimenta-se para a esquerda e a mão esquerda para a direita. Com esse gesto de ação o professor reproduz o movimento dos pulsos após a superposição.   |

### Subsegmento SS5 para o qual atribuímos a intenção retórica de comparação entre interpretações da superposição de pulsos

O professor encontrava-se na frente da sala, voltado para a turma.

17'27" - Professor: *A ideia é a seguinte/ será que eles batem e voltam?/ ou será que*

{~~~~~  5a ~~~~~}

eles passam um pelo outro?/[Passam um pelo outro.][Bate e volta.](A turma se

~~~~  5b----- }

manifesta)) *Aqui fica difícil você enxergar/ vamos/ fazer assim/ [quê que tá*

{  5a  5a----- } {  5b----- }

*acontecendo?/gente!]/ ((uma estudante se manifesta)) Vou fazer pra baixo agora/ eles*

-----  5c----- } {  5b

*podem tanto estar passando um sobre o outro/ como batendo e voltando/ bem(5s)/vocês*

~~~~  5c----- ~~~~~  5d----- } {  5a ---

*estão anotando isso no caderno?/[Estamos.]/ ((a turma se manifesta)) Então, o quê que*

----- }

*acontece?/ Eles se somam/ e:::/ faça o desenho no caderno.// ((o professor é*

{ ~  5e } {  5b----- }

interrompido pela chegada de um estudante atrasado))

18'35" - Antônio: *Professor, e se for diferente um do outro?(6s)/ Hein professor/ e se for diferente um do outro?// ((O estudante refere-se ao encontro de pulsos com amplitudes diferentes))*

18'37" - Professor: *Oi?/ Nós vamos fazer isso agora./ Antes de chegar nisso/ vamos*

{  5a----- } {  5b----- ~~~~~

*tentar responder aquela dúvida/ se eles batem e voltam/ ou/se eles passam um pelo*

~~~~  5f----- ~~~~~  5g-----

*outro (6 s)/ Vou fazer agora dois pulsos invertidos./ Agora isso/ quê que acontece*

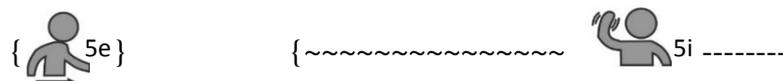
--- } {  5c  5d----- } {  5d-----

*quando os dois pulsos vão invertidos um no outro?/*

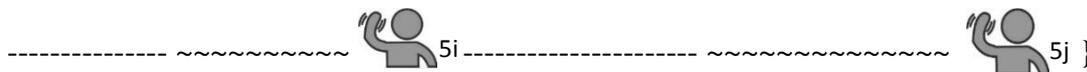
~~~~  5h----- }

19'19" – José: *Se anulam momentaneamente. [Isso, eles vão se anular] ((O Tiago confirma a resposta do José))*

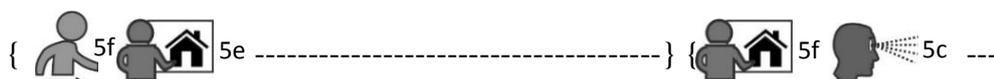
19'25" - Professor: *Isso, vão se anular./ Mas você acha que eles vão se anular/ e/*



*depois voltar/ como se tivessem batendo um no outro?/ [Não!]/ ou/ eles vão passar um*



*pelo outro?/ Vamos ver?/ Na hora que chega um sobre o outro/ tem uma sobreposição/*



*um realmente anula o outro./ né?/ Mas depois/ eles continuam caminhando/ na mesma*



*direção./ Então, eles não batem e voltam não/ eles passam um pelo outro/ sobrepõem*



*ali/ e depois continuam andando do mesmo jeito que estavam antes.//*



| Descrição das ações e gestos |  |
|------------------------------|--|
| 5a                           | O professor encurva ligeiramente as mãos pronadas, aproximando-as e separando-as em seguida. Esse gesto tem como referente uma hipotética reflexão dos pulsos após uma também hipotética “colisão entre os pulsos” que ocorreria no momento da superposição. |
| 5b                           | O professor faz suas mãos pronadas e encurvadas passarem uma pela outra, para indicar a passagem de um pulso pelo outro e assim caracterizar a outra possibilidade de interpretação do que ocorre durante a superposição dos pulsos.                         |
| 5a<br>5a                     | O professor aproxima-se do computador e clica na tecla reiniciar do aplicativo. Com essa ação ele indica aos estudantes que vai apresentar uma situação diferente da anterior.   |
| 5b<br>5c                     | O professor utiliza o aplicativo para produzir o encontro de dois pulsos com fases negativas. Depois, ele avança as imagens, passo a passo, até que os dois pulsos passem completamente um pelo outro. Por fim, ele congela a imagem.                        |
| 5b                           | O professor afasta-se do computador e se dirige à turma. Essas ações são acompanhadas pela preparação do gesto 5c.   |
| 5c                           | Repete o gesto 5b, para indicar a passagem de um pulso pelo outro.   |
| 5d                           | Repete o gesto 5a para, novamente, indicar uma hipotética reflexão dos pulsos após o momento da superposição.  |
| 5a                           | Olha para a folha da atividade e, em seguida, volta a olhar para a turma. Essa mudança de olhar comunica aos estudantes que o professor está se orientando pelas questões do roteiro.  |

|  |   |
|--|---|
|  5e   | Faz um gesto unindo as duas mãos levemente encurvadas com as palmas voltadas para baixo. Esse gesto cumpre a mesma função do gesto 4h.  |
|  5b   | Olha novamente para a folha da atividade. O professor faz isso para ler uma questão do roteiro que pede para os estudantes desenhar a superposição dos pulsos no caderno.   |
|  5a   | Vira para o estudante indicando que ouviu sua pergunta.   |
|  5b   | Vira para a turma, mas aponta para o estudante que fez a pergunta. Com esse gesto o professor comunica que pretende concluir o debate iniciado anteriormente para só depois responder à questão recém apresentada pelo estudante.   |
|  5f   | Repete o gesto 5a para indicar a reflexão dos pulsos.   |
|  5g   | Repete o gesto 5b para indicar a passagem de um pulso sobre o outro.  |
|  5c   | Aproxima-se do computador, produz pulsos invertidos e congela a imagem instantes antes dos pulsos se encontrarem. A ação de congelar a imagem comunica a intenção do professor de interagir com a turma e solicitar uma previsão ou formular alguma questão.                    |
|  5d   |   |
|  5d   | Afasta-se do computador e se volta para a turma. Essa ação é acompanhada pela preparação do gesto 5h.   |
|  5h  | Faz um gesto com as mãos encurvadas, uma para cima e a outra para baixo, movimentando-as uma ao encontro da outra. Trata-se de um gesto representacional de ação e de modelagem que reproduz tanto a forma dos pulsos quanto a propagação deles exibidas na tela do aplicativo. |
|  5e | O professor desloca-se um pouco em direção ao estudante que dá a resposta à questão que fora dirigida à turma. Com essa ação ele comunica para toda turma que está interagindo com esse estudante.  |
|  5i | Repete o gesto 5a para se referir a uma hipotética reflexão dos pulsos.   |
|  5j | Repete o gesto 5b para indicar a passagem de um pulso sobre o outro.  |
|  5f | Aproxima-se do computador e avança, passo a passo, a imagem que estava congelada.   |
|  5e |   |
|  5f | Congela a imagem e dirige um olhar para a turma. Essas ações indicam que o professor vai falar sobre os fenômenos simulados pelo aplicativo.  |
|  5c |   |
|  5d | O professor volta a olhar para a tela do computador e volta a avançar a imagem passo a passo. Em seguida, congela novamente a imagem. A ação de congelar a imagem comunica aos estudantes sua intenção de falar sobre o que o aplicativo acabou de representar.                 |
|  5g |   |
|  5g | Aproxima-se da turma. Essa proximidade, além de sinalizar a intenção do professor de interagir com a turma, é acompanhada pela preparação do gesto 5k.  |
|  5k | Repete o gesto 5a para indicar uma hipotética reflexão dos pulsos.  |

|  |   |
|--|---|
|  5l | Repete o gesto 5b para indicar a passagem de um pulso sobre o outro.  |
|  5m | Repete o gesto 5e para indicar a superposição dos pulsos.   |
|  5n | Separa as mãos unidas durante a realização do gesto 5m e desloca-as horizontalmente em sentidos opostos para indicar a passagem de um pulso pelo outro. |

**Subsegmento SS6 para o qual atribuímos a intenção retórica de repetição, sob demanda, do último fenômeno produzido no subsegmento anterior**

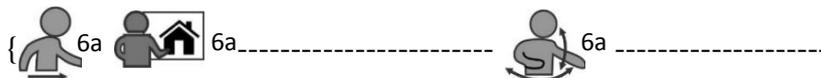
O professor encontrava-se na frente da sala, voltado para a turma.

20'00" – Pedro: *Professor, na hora que você sobrepôs/ você tava na minha*

*frente/ na hora que sobrepôs/ você fez assim?//*



20'03" - Professor: *Vamos ver de novo (6s)/ Na hora que sobrepõe/ um anula o outro*



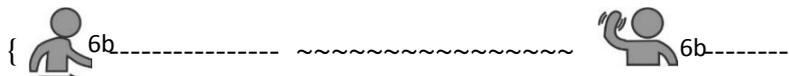
*completamente/ depois continuam passando./ Vamos fazer /aqui /sem parar [Parece*



*que tá voltando!] ((o José se manifesta)) [Parece que tá voltando!] ((o estudante*

*se manifesta novamente))*

*Vê que não tá voltando/ porque o que tava debaixo continuou*



*embaixo/ e o que tava de cima/ continua em cima [Parece que bateu e fez isso aqui o]*



*((comentário do Nelson, que está no fundo da sala atrás do José)) [Dá*

*impressão que eles tão voltando!] ((Cristina, sentada na frente da sala, se*

*manifesta)) Isso!// ((o professor não escuta o comentário feito pelo Nelson))*



| Descrição das ações e gestos   |  |
|--|--|
|  6a   | O estudante faz um gesto com os dedos indicador e polegar de uma das mãos para formar um U. Os mesmos dedos da outra mão são usados para formar um U invertido. Trata-se de um gesto representacional de modelagem que permitiu ao estudante formular sua pergunta sem fornecer um referente verbal para a palavra <i>assim</i> .  |
|  6a   | O professor dirige-se para o computador. Essa ação sinaliza ao estudante que fez a pergunta a intenção do professor de repetir o fenômeno representado no aplicativo.  |
|  6a   | Repete, na simulação, a sobreposição dos pulsos, passo a passo. Congela, momentaneamente, a imagem no instante da sobreposição e, em seguida, continua a avançar, passo a passo, os pulsos. Essa sequência de ações é realizada pelo professor de maneira a coordenar sua fala com a representação do fenômeno realizada pelo aplicativo.  |
|  6a   | Abaixa-se para não atrapalhar a visão do estudante que fez a pergunta.   |
|  6b   | Deixa a simulação rodar continuamente. Essa ação produz uma dúvida em alguns estudantes que passam a manifestar essa dúvida por meio da fala e de gestos.  |
|  6b   | O professor levanta e se aproxima da turma. Com essas ações, o professor chama a atenção para si e sinaliza que vai interagir com toda a turma.  |
|  6b   | Com a mão direita ligeiramente encurvada em supinação, o professor desloca horizontalmente o braço direito para o lado esquerdo do seu corpo. Esse gesto serve para reforçar a ideia, expressa verbalmente, de que: (i) o pulso de amplitude negativa continuou se propagando após se encontrar com o pulso de amplitude positiva; (ii) o sentido de movimento original dos pulsos é o mesmo antes e depois da superposição. |
|  6c | Com a mão direita ligeiramente encurvada em pronação, o professor desloca horizontalmente o braço direito no sentido da esquerda para a direita. Esse gesto tem a mesma função do gesto anterior porém o seu referente é o pulso que contém a crista e não aquele que contém o vale.   |
|  6d | O estudante faz um gesto indicando que os pulsos foram refletidos com inversão de fase depois de se encontrarem em um mesmo ponto da corda: com o dedo indicador estendido horizontalmente e apontado para a imagem do quadro, ele movimenta a mão para a esquerda até certo ponto, para, usa o mesmo dedo para desenhar no ar um pulso de amplitude negativa e em seguida desloca o dedo para a direita.                    |
|  6c | Aproxima-se do quadro e pega a caneta preta para fazer alguns registros. Esse comportamento proxêmico sinaliza para os estudantes que o professor deu por encerrada a discussão sobre o que acontece com os pulsos depois da superposição.   |

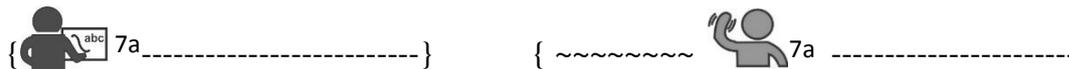
### Subsegmento SS7 para o qual atribuímos a intenção retórica de sistematização das ideias discutidas nos subsegmentos SS4 a SS6

O professor estava na frente da sala, voltado para o quadro e de costas para a turma.

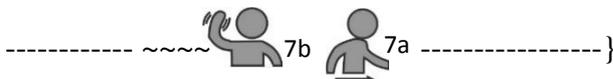
20'50'' - Professor: *Então/quê que acontece quando eles/ tão na mesma direção?*(5 s)/

{  7a..... }

e quando vai em direção diferente?(5s)/ Então/ eu chamo isso aqui de interferência

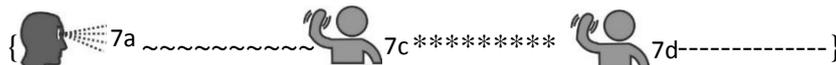


construtiva/ e aqui de interferência destrutiva//



21'27" - Antônio: Professor, eles se anulam e depois continuam na mesma direção?

21'29" - Professor: É/ eles anulam na hora que sobrepõe/ depois continuam andando/

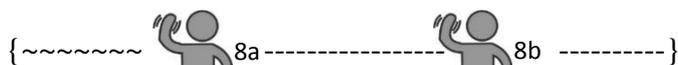


| Descrição das ações e gestos |   |
|------------------------------|---|
| 7a                           | Na frente da palavra construtiva, o professor faz no quadro as inscrições $\wedge + \wedge = \Lambda$ , para representar a interferência construtiva entre dois pulsos de mesma fase que dão origem, momentaneamente, a uma “crista maior”.       |
| 7b                           | Na frente da palavra destrutiva, o professor faz no quadro as inscrições $\wedge + \vee = --$ , para representar a interferência destrutiva entre dois pulsos de fases opostas que se anulam em dado instante.                                    |
| 7a<br>7b                     | Vira o torso e o rosto para a turma, aponta para a inscrição 7a feita no quadro e desliza o dedo sobre ela. Faz o mesmo tipo de gesto dêitico ao apontar para a inscrição 7b.   |
| 7a                           | Aproxima-se da turma e fica aguardando alguma manifestação de dúvida por parte dos estudantes.  |
| 7a                           | Olha para o estudante que fez a pergunta. Essa ação sinaliza para a turma que o professor vai interagir com o estudante.  |
| 7c                           | Movimenta horizontalmente as mãos pronadas e ligeiramente encurvadas, uma de encontro a outra, parando-as quando elas ficam sobrepostas. Esse gesto reproduz a superposição dos pulsos ondulatórios.  |
| 7d                           | Movimenta horizontalmente as mãos que estavam sobrepostas em 7c, de modo que uma ultrapasse a outra. Esse gesto é usado para indicar que os pulsos ondulatórios continuam a se propagar da mesma forma que se propagavam antes de se encontrarem. |

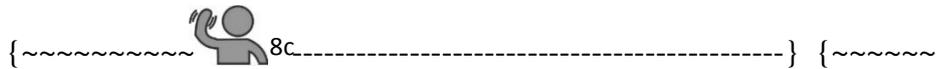
### Subsegmento SS8 para o qual atribuímos a intenção retórica de exemplificação do princípio de superposição

O professor estava na frente da sala, voltado para a turma.

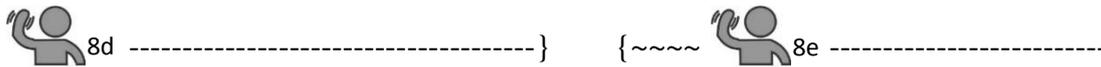
21'35" - Professor: Isso aí/ é:::/ esse princípio de superposição é que permite/ por exemplo/ eu escutar a voz do Eduardo/ e a voz da Maria/ que fala sem parar



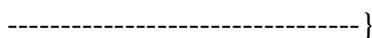
também/ enquanto os dois falam ao mesmo tempo/ [Começa aí Maria/ lá,lá,lá] ((o Eduardo,usado no exemplo, faz uma graça)) Então/ quando os dois falam ao mesmo tempo/os dois emitem ondas sonoras/ e as ondas sonoras se sobrepõem/ só que eu



consigo escutar as duas/ separadamente/ então uma/ uma não atrapalha a outra/ elas



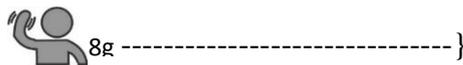
passam uma sobre a outra/ mas elas mantêm a integridade uma da outra/ eu consigo



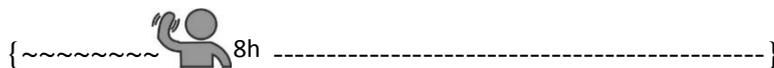
separar/ eu tenho duas vozes/ uma do Eduardo e outra da Maria/ uma voz



completamente diferente da outra/ então/ a superposição/de ondas/ é interessante por



isso/ as ondas/ elas passam uma pela outra/ e continuam andando depois.//



22'36" - Eduardo: Mas, por que você só ouve a minha voz? (( o Eduardo é muito falante e é constantemente advertido pelo professor))

22'40" - Professor: Eu não preciso nem te falar (10s)/



| Descrição das ações e gestos   |   |
|--|---|
|  8a<br> 8b | Aponta para um estudante e, em seguida, aponta para outra estudante. Esses gestos têm função dêitica. São usados para indicar os estudantes utilizados no exemplo apresentado pelo professor. |
|  8c   | Movimenta horizontalmente as mãos estendidas e ligeiramente encurvadas, uma de encontro a outra, parando-as quando elas ficam sobrepostas. Esse gesto tem a mesma função do gesto 7c.         |
|  8d   | Aponta para os estudantes do exemplo, como já havia feito nos gestos 8a e 8b.   |
|  8e   | Gesticula repetidas vezes indicando a superposição e a passagem das ondas, repetindo gestos já produzidos nesse segmento, como, por exemplo, os gestos 7c e 7d.                               |

|  |   |
|--|---|
|  8f   | Aponta novamente para os estudantes do exemplo.   |
|  8g   | Com os antebraços na vertical gira as mãos abertas em sentidos opostos para indicar que as vozes dos estudantes são completamente diferentes.   |
|  8h   | Faz um gesto cruzando os braços estendidos horizontalmente, formando um X. Esse gesto faz referência às ondas sonoras que se cruzam antes de chegarem à orelha do professor.  |
|  8a<br> 8a | Aproxima-se do computador e clica na tecla reiniciar da simulação. Essas ações tanto sinalizam que a pergunta do Eduardo não é pertinente ao exemplo apresentado pelo professor, quanto indicam para a turma a intenção do professor de produzir um novo fenômeno na simulação. |

### Subsegmento SS9 para o qual atribuímos a intenção retórica de estudo da superposição de dois pulsos com amplitudes diferentes

Inicialmente, o professor estava agachado manipulando o computador. Essa configuração inicial de seu corpo é modificada rapidamente, como mostra o trecho transcrito a seguir.

23'00" - Professor: *Agora/ quê que acontece quando eu tenho duas ondas de*

{  9a ----- }

*amplitudes diferentes? (10 s)/ Ali agora/ eu tenho duas ondas/ dois pulsos com duas*

----- } {  9a ----- }

*amplitudes/né? Na hora que ele sobrepõe/ um/ diminui (15s)/ encontrando/ esse aqui*

----- } {  9b {  9b ----- } {  9c ~~~~~ {  9a

*diminuiu/ porque o outro tava invertido (15s)/ Então/ o quê que acontece se um dos*

----- } {  9d {  9c } {  9a ----- ~~~~

*pulsos está invertido?/ Tá?/ Um vai anular o outro/ interferência destrutiva./ É::/ e se*

~~~~~ {  9b ----- }

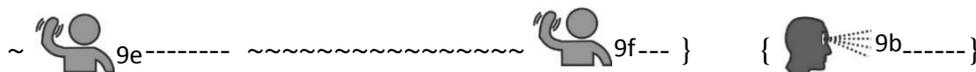
*os dois pulsos têm amplitudes diferentes?/ É::/ se eles estão na mesma direção/ vão*

{ ~~~~~ {  9c ----- }

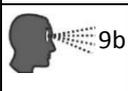
*somar/ e/se tão em direções diferentes/ em direções diferentes/ eles se somam/ oh/ um*

----- {  9e {  9d ----- ~~~~~ {  9d ----- ~~~~~

*diminui o outro/ e em direções iguais eles se somam/ tá?/ Ficou claro isso? //*



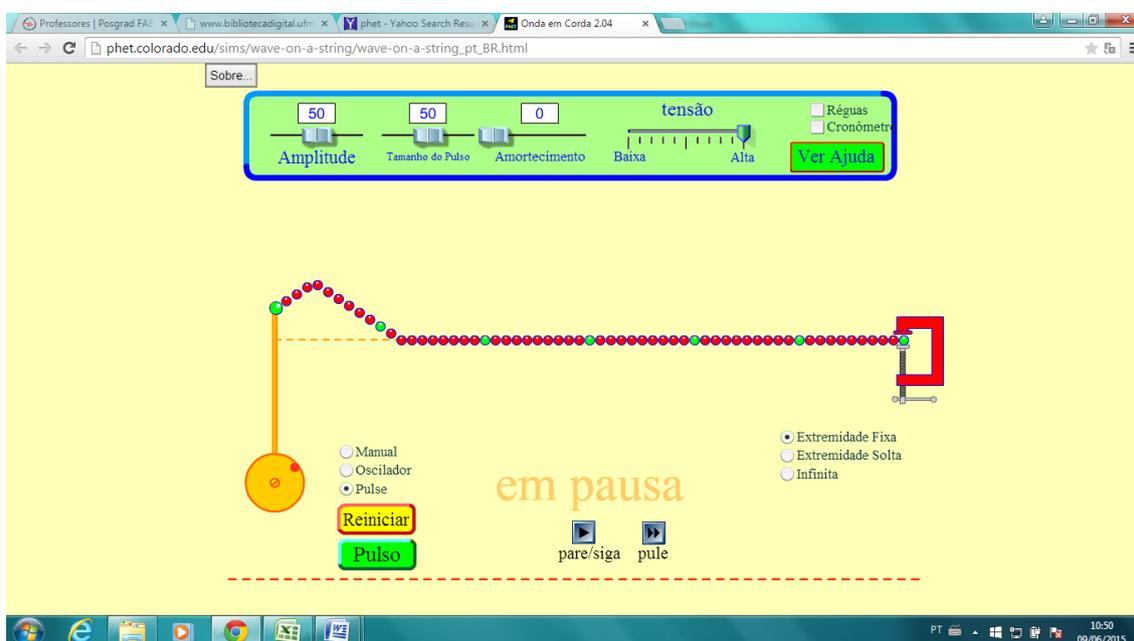
| Descrição das ações e gestos                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  9a                                                                                             | Usa o aplicativo para produzir um pulso que contém um vale com amplitude grande e outro pulso que contém uma crista com amplitude menor. Congela a imagem antes dos pulsos se encontrarem. Essa ação indica que o professor vai interagir com a turma em seguida, solicitando uma previsão acerca da superposição dos pulsos, como fez, anteriormente, em situações similares. |
|  9a                                                                                             | Levanta e aproxima-se da turma. Com essa ação o professor chama a atenção para si e para a imagem da simulação que está projetada no quadro.                                                                                                                                                                                                                                   |
|  9b<br> 9b     | Aproxima-se do computador e se agacha para não obstruir a visão dos estudantes. Avança a simulação, passo a passo, até os pulsos ficarem superpostos. Em seguida, congela a imagem. Essa ação indica que o professor vai falar com os estudantes sobre o fenômeno que ele acabou de simular com o aplicativo.                                                                  |
|  9c                                                                                             | Levanta-se e aproxima-se da projeção. Esse comportamento proxêmico do professor indica que ele pretende interagir com a imagem que está projetada. Além disso, nesse deslocamento ocorre a preparação do gesto 9a descrito na próxima linha deste quadro.                                                                                                                      |
|  9a                                                                                           | Com o dedo indicador da mão direita, o professor aponta para o pulso que diminuiu e, com a mão esquerda na horizontal (encurvada e com a palma voltada para cima), ele faz referência ao pulso invertido. Esse gesto cumpre tanto uma função dêitica, quanto uma função de modelagem.                                                                                          |
|  9d<br> 9c | Aproxima-se do computador, clica na tecla <i>sig</i> a para deixar os pulsos se propagarem; depois, afasta-se um pouco do computador e se volta para a turma. A ação de voltar-se para a turma no instante em que diz a palavra “ <i>Então</i> ” sugere que o professor pretende concluir a explicação do fenômeno que é o tema desse subsegmento da aula.                     |
|  9a                                                                                           | O professor olha para a folha da atividade e, após uma pequena pausa, verbaliza uma das questões escritas no roteiro.                                                                                                                                                                                                                                                          |
|  9b                                                                                           | Levanta a mão esquerda com a palma da mão voltada para baixo. Quando a mão atinge a altura do peito ele gira a palma da mão para cima. O golpe desse gesto ocorre no instante em que ele diz a expressão “ <i>tá invertido</i> ”. Faz esse gesto olhando para a turma e, em seguida volta a ler a folha da atividade.                                                          |
|  9c                                                                                           | Faz um gesto com as duas mãos encurvadas sobrepostas e com as palmas voltadas para baixo para indicar a superposição de dois pulsos iguais.                                                                                                                                                                                                                                    |
|  9e<br> 9d | Aproxima-se do computador e congela a imagem no instante em que há a superposição de pulsos com fases opostas e amplitudes distintas. Essa interação com a imagem tem a função de produzir na tela do aplicativo a situação que o professor descreve verbalmente no momento em que executa o gesto 9e.                                                                         |
|  9d                                                                                           | Eleva verticalmente os braços, indicando aumento da amplitude. Esse gesto é incoerente com a imagem projetada no quadro e é rapidamente corrigido pelo professor.                                                                                                                                                                                                              |
|  9e                                                                                           | Faz um gesto sobrepondo as mãos encurvadas, que estão com as concavidades das mãos voltadas para lados opostos: uma delas representando uma crista e a outra um vale.                                                                                                                                                                                                          |

|                                                                                   |                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Repete o gesto 9c mas, dessa vez, movimentando as mãos encurvadas e sobrepostas verticalmente para cima. Faz esse gesto para indicar o aumento da amplitude. |
|  | Olha para a folha da atividade para certificar-se de que leu toda a questão. Em seguida, olha para a turma para verificar se os estudantes têm dúvidas.      |

#### 5.4.4. FUNÇÕES DOS MODOS DE COMUNICAÇÃO USADOS NO SEGMENTO

No segmento da aula do dia 04/11/2013 que analisamos nesta seção, o professor usou duas configurações diferentes para o aplicativo *Onda em Corda*. Na primeira delas, ele selecionou a opção *extremidade fixa* e utilizou o modo *pulse* para produzir os pulsos. Nessa configuração, a tela do aplicativo apresentava o aspecto mostrado na figura 9.

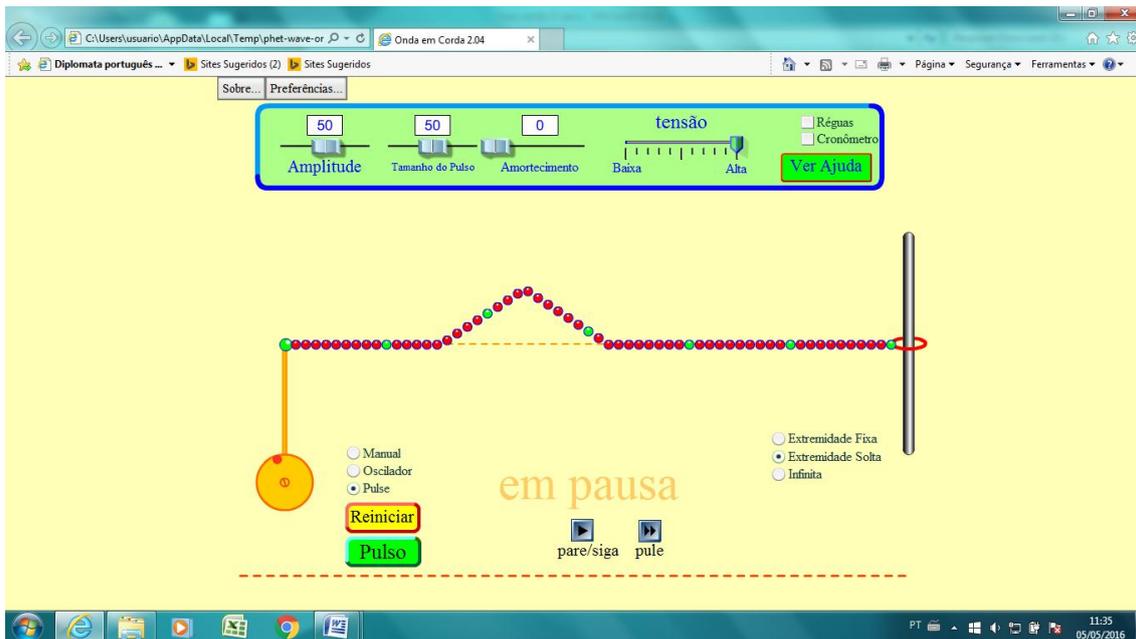
**FIGURA 9: Captura de tela do aplicativo *Onda em Corda* com uma das configurações usadas no segmento 2 da aula do dia 04/11/13**



Na outra configuração, o professor selecionou a opção *extremidade móvel*. Nesse caso, o ícone da ferramenta sargento que aparece na extremidade direita da corda foi substituído por uma argola e uma haste, representação tipicamente usada em livros didáticos para representar uma corda com extremidade livre. Essa nova configuração pode ser vista na figura 10.

Nas duas situações, o professor eliminou o *amortecimento* e fez alterações na *amplitude* dos pulsos produzidos. Além disso, o professor usou o recurso de congelar a propagação dos pulsos, avançar continuamente e avançar passo a passo.

**FIGURA 10: Captura de tela do aplicativo *Onda em Corda* com outra configuração usada no segmento 2 da aula do dia 04/11/13**



Do ponto de vista ideacional, o segmento em questão possibilitou o compartilhamento das seguintes ideias: (i) identificação da diferença entre as fases dos pulsos oriundos de reflexões em uma extremidade fixa ou solta; (ii) explicação das razões pelas quais o pulso refletido tem fase igual ou diferente do pulso incidente; (iii) definição do conceito de superposição; (iv) afirmação de que os pulsos voltam a se propagar com as mesmas características originais após a superposição; (v) definição dos conceitos de interferência construtiva e destrutiva; (vi) uso do princípio de superposição de pulsos na explicação de uma situação familiar aos estudantes mencionada em SS8.

Do ponto de vista interpessoal, o segmento foi marcado por várias interações entre o professor e os estudantes e pela manutenção de um ambiente de exploração dos fenômenos com a participação dos estudantes. Como é possível verificar em SS4 e SS5, o professor estimulou a participação dos estudantes demandando previsões sobre o comportamento dos pulsos ondulatórios em situações que foram estudadas com o auxílio do aplicativo. A participação voluntária dos estudantes, seja apresentando questões ou sugerindo explorações que o professor deveria realizar com o aplicativo, como vemos em SS2 e SS5, também marcaram esse segmento. Em SS2, o estudante Antônio solicitou ao professor uma explicação para a inversão do pulso refletido em uma corda com extremidade fixa. Em SS5, a pergunta feita, novamente pelo Antônio, antecipou uma questão que o professor discutiu em SS9. No subsegmento SS5, os

comentários feitos pelo estudante Nelson e pela Cristina sugerem que as escolhas feitas pelo professor, para explicar o que aconteceu com os pulsos depois que eles se superpuseram, não surtiram o efeito desejado. Retornarei a essa discussão um pouco mais adiante.

Do ponto de vista textual, o segmento foi iniciado pela afirmação do professor de que ele daria continuidade ao estudo da reflexão de pulsos que foi realizado com a manipulação da mola metálica. Essa fala ocorreu imediatamente depois dele projetar na lousa a tela do aplicativo *Onda em Corda*. O término desse segmento ocorreu após a discussão da quarta questão do roteiro e da produção do fenômeno de superposição de dois pulsos com fases opostas e amplitudes diferentes.

O segmento é coerente com os outros que compuseram a mesma aula e também apresenta grande coerência interna entre três momentos sucessivos e complementares. Inicialmente, o professor tratou do fenômeno de reflexão dos pulsos na extremidade da corda. O tema seguinte foi o encontro de pulsos idênticos a partir do qual ele apresentou o conceito de interferência. Finalmente, o professor simulou e explicou o encontro de pulsos com amplitudes diferentes.

O primeiro momento serviu para explicar como é possível produzir pulsos em fase ou com inversão de fase. Esses dois tipos de pulso foram usados: (i) no segundo momento para a superposição de pulsos de mesma amplitude; (ii) no terceiro, para a superposição de pulsos com amplitudes diferentes.

Do ponto de vista da coerência com os outros segmentos da aula, tanto a simulação da reflexão e da superposição de pulsos ondulatórios por meio do aplicativo, quanto a manipulação da mola metálica, constituíram uma introdução ao estudo da interferência ondulatória. Após essa introdução, o professor partiu para a discussão de outros casos, tais como a formação de ondas estacionárias, a interferência bidimensional de ondas na água, dentre outros.

A preocupação do professor em conduzir a aula seguindo o roteiro impresso fica evidente em SS4. Ao olhar para a folha do roteiro (olhar 4a), o professor constatou que algumas de suas ações (interação com imagens 4a/4b/4c/4d/4e) não estavam em acordo com o roteiro e, a partir dessa constatação, corrigiu suas ações (interação com imagens 4f/4g/4h).

#### 5.4.5. POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES DO APLICATIVO

Em relação às potencialidades do aplicativo *Onda em Corda*, reitero uma característica já destacada anteriormente - a rapidez com que se pode alterar a configuração da corda e as características dos pulsos para observar os efeitos dessas alterações – e acrescento outra: a possibilidade de congelar a imagem da propagação dos pulsos e de avançá-los passo a passo. Essas características foram fundamentais para manter a participação dos estudantes na atividade que, do ponto de vista interpessoal, marcou o segmento.

Em SS2, para responder a pergunta apresentada por Antônio, o professor congelou a imagem do pulso (interação com imagens 2a), interagiu com a imagem projetada (gestos 2a/2b/2c/2d/2e/2f e mudança de postura corporal 2a/2b) e, em seguida, avançou o pulso, passo a passo, até ele atingir a extremidade fixa e sofrer a inversão (interação com imagens 2a), enquanto explicava verbalmente a causa da inversão do pulso ao ser refletido na extremidade fixa. A situação descrita ilustra uma potencialidade associada ao uso do aplicativo. Notamos, nesse caso, que o aplicativo permitiu ao professor introduzir uma relação típica do modo como a Física interpreta os fenômenos: a relação de causalidade entre o tipo de extremidade utilizada (fixa ou livre) e a fase do pulso refletido. Além disso, essa situação também ilustra outra potencialidade: a sincronia entre a produção do fenômeno e a explicação da sua causa contribui para que o estudante compreenda a relação de causalidade e se convença da explicação.

Em SS4, o professor alterou dez vezes as configurações do aplicativo (interação com imagens 4a a 4j), tanto para manter a estruturação da aula, que é um aspecto da função do textual da orquestração dos modos de comunicação, quanto para estimular a participação dos estudantes, que é um aspecto da função interpessoal da mesma orquestração. O aplicativo possibilita a rápida alteração das configurações e, por isso, permitiu ao professor controlar a duração do fenômeno para manter o debate com os estudantes.

No segmento analisado nesta seção identificamos outra característica do aplicativo que pode, por um lado, comprometer a compreensão do fenômeno de superposição de pulsos e, por outro, possibilitar o esclarecimento de uma dúvida muito comum entre os estudantes: o que acontece enquanto os pulsos se superpõem?

Tal dúvida apareceu pela primeira vez em SS4 quando o professor simulou o encontro de duas cristas idênticas (interação com imagens 4g/4h). Ao interagir com os estudantes, perguntando o que aconteceria quando os pulsos se encontrassem, surgiu a dúvida que o professor sustentaria até o final de SS5: os pulsos batem e voltam ou passam um pelo outro?

No início de SS5 os estudantes voltaram a manifestar essa dúvida. Ao dizer “*Aqui fica difícil você enxergar*”, o professor enfatizou que o aplicativo tinha uma limitação. Não é possível responder à questão acima, simplesmente observando o encontro de duas cristas idênticas (interação com imagens 4g/4h) ou de dois vales idênticos (interação com imagens 5b/5c). De fato, nesse caso específico, o aplicativo permite duas interpretações para o que acontece durante a e depois da superposição dos pulsos: tanto é possível concluir que os pulsos passam um pelo outro, quanto que colidem durante o encontro para sofrerem uma reflexão após o encontro.

Na sequência de SS5, o professor usou o aplicativo para simular a superposição de pulsos com fases opostas e amplitudes iguais (interação com imagens 5d a 5g) e, usou, inicialmente, o discurso de autoridade para afirmar que os pulsos passavam um pelo outro. A argumentação usada para sustentar essa afirmação só foi desenvolvida em SS6, quando o professor repetiu, a pedido de um estudante, o fenômeno da superposição de uma crista e um vale, inicialmente passo a passo (interação com imagens 6a) e, em seguida, em velocidade normal (interação com imagens 6b).

A argumentação do professor, todavia, não produziu o efeito desejado uma vez que a dúvida ficou ressaltada a partir do momento em que ele usou a velocidade normal de avanço da simulação. Como podemos verificar em SS6, os estudantes voltaram a dizer que os pulsos pareciam bater e voltar. O Nelson, inclusive, desenvolveu uma explicação (gesto 6d) para sustentar a reflexão dos pulsos e se opor à argumentação do professor. Infelizmente, o professor não escutou o Nelson, que estava sentado no fundo da sala, e não desconstruiu a sua explicação.

Como o uso que o professor fez do aplicativo autorizava os estudantes interpretarem o fenômeno de uma maneira alternativa, entendendo que os pulsos batem e voltam, podemos dizer que esse uso pode ter comprometido a compreensão do fenômeno de superposição tal como ele é concebido pela Física Escolar.

Entretanto, vale resaltar que outro uso do mesmo aplicativo poderia evitar essa interpretação alternativa do fenômeno. Com o aplicativo, é possível simular o encontro de dois pulsos invertidos de amplitudes diferentes e, assim, convencer os estudantes de que os pulsos passam um pelo outro. Usando o aplicativo para produzir o encontro de pulsos de amplitudes diferentes, por exemplo uma crista de grande amplitude e um vale de pequena amplitude, pode-se construir uma argumentação capaz de convencê-los sobre a correta interpretação do fenômeno.

Na fase da aula em que o professor explica a formação de ondas estacionárias, ele aponta outra limitação do aplicativo *Onda em Corda*. De acordo com o professor, “*fica difícil visualizar*” no aplicativo o fenômeno de interferência e a consequente formação de ondas estacionárias como resultado da superposição de pulsos recém produzidos e já refletidos na extremidade da corda. De fato, o aplicativo apenas permite visualizar o resultado final da superposição de ondas periódicas e, para frequências específicas, a onda estacionária resultante, deixando a cargo do usuário a interpretação do que aconteceu. Nesse sentido, o aplicativo tem a mesma limitação da mola utilizada no 1º segmento da aula ou do experimento realizado no laboratório no dia 24/10/13. Por meio desses três recursos o que se observa, quando se produzem ondas contínuas, é apenas o resultado final, a onda estacionária. Sem a mediação do professor, esses recursos não permitem compreender o fenômeno como resultado da superposição de pulsos recém produzidos e já refletidos.

#### **5.4.6. ORQUESTRAÇÃO DOS MODOS DE COMUNICAÇÃO NO SEGMENTO**

Uma característica textual desse segmento da aula, também observada nos outros segmentos analisados nas seções 5.2 e 5.3 deste capítulo, é a cuidadosa orquestração multimodal empreendida pelo professor. Ele procurou coordenar fala, gestos e vários tipos de ações para mediar a interação dos estudantes com o aplicativo. A comunicação multimodal se manteve intensa ao longo de todo o segmento e foi marcada pelo comportamento proxêmico do professor, pela constante interação com as imagens e pela diversidade de gestos que ele realizou.

Em relação ao comportamento proxêmico, verificamos que o professor se movimentou repetidas vezes entre a imagem projetada no quadro e o computador, além de se voltar inúmeras vezes para a turma, ora dirigindo-se a algum estudante em particular, ora dirigindo-se a turma em geral. O comportamento proxêmico, as movimentações de

cabeça e as alterações na direção do olhar comunicavam para onde o professor estava olhando e com quem estava interagindo em cada momento do segmento da aula, dessa forma, essas ações também sinalizavam aos estudantes para onde eles deveriam voltar suas atenções.

Em relação à interação com imagens, como era de se esperar, o professor alterou, inúmeras vezes, as configurações do aplicativo para simular os diversos fenômenos ondulatórios que contemplavam as funções ideacionais desse segmento. Em SS4 e SS5 merece destaque a orquestração entre a fala e o modo de comunicação interação com imagens que ocorreu, seja por meio da manipulação do computador seja através da interação com as imagens projetadas no quadro. Essa orquestração foi importante para a manutenção da estratégia de envolver os estudantes nas atividades. O professor, várias vezes, congelou a imagem projetada no quadro para solicitar aos estudantes a realização de previsões sobre o fenômeno que era simulado. Em SS1 e SS2, o congelamento de imagens (interação com imagens 1a/1b/2a) foi conduzida para permitir ao professor aproximar-se da projeção e interagir com a projeção. As interações com imagens 4i/5e/5f/5g/6a/ foram marcadas pela boa coordenação entre a fala e ação do professor. Enquanto avançava a imagem passo a passo, ele ia descrevendo o desenrolar do fenômeno projetado no quadro. Finalmente, em SS9, a ação de congelar a imagem (interação com imagens 9a), combinada com a fala que sucede essa ação, cumpriu uma função dêitica, indicando aos estudantes para onde eles deveriam voltar suas atenções naquele momento. Já as ações de avançar passo a passo a simulação e de, logo em seguida, congelar a imagem (interação com imagens 9b) permitiram ao professor: (i) descrever o fenômeno que estava ocorrendo; (ii) aproximar-se da projeção, interagir com a imagem e explicar porque a amplitude do pulso diminuiu.

Em relação à gesticulação empreendida pelo professor, houve uma predominância de gestos representacionais de ação. Além dos gestos 3b, 4b, 4h, 4i, 5a e 5b, que serão analisados nos próximos parágrafos, outros gestos cumpriram a função representacional de ação. Em 1a, o gesto teve duas funções complementares. A primeira foi a função dêitica e decorreu do fato do professor apontar o local onde fora realizada a demonstração com a mola, remetendo o estudante a um momento anterior da aula. A segunda foi a função de representação da ação de oscilação da mola que indicou aos estudantes uma relação entre o segmento anterior da aula e o segmento que se iniciava.

Essa dupla função do gesto também foi observada em 1b. Nesse gesto, o professor tanto apontou para o pulso no instante em que ele atingiu a extremidade fixa (indicando para os estudantes o que eles deveriam observar na simulação) como fez um gesto representando a inversão do pulso. O golpe desse gesto ocorreu quando o professor disse “ele inverte” e se deu em sincronia com o desenrolar da reflexão do pulso na simulação. Já os gestos 4f, 5h, 6b e 6c tiveram funções representacionais de modelagem e de ação. Nesses gestos, as mãos encurvadas foram usadas como se fossem ícones dos pulsos ondulatórios exibidos na tela do aplicativo e projetados no quadro. A função representacional de ação se deu através dos diferentes deslocamentos das mãos produzidos naqueles gestos para representar a propagação dos pulsos.

O fenômeno de superposição dos pulsos ondulatórios foi descrito todas as vezes por meio de uma unidade gestual constituída por duas frases gestuais. Os gestos usados nessa unidade gestual combinavam as funções representacionais de modelagem e de ação. Como pode ser verificado nos gestos 4h, 5m e 7c, o professor movimentou as mãos encurvadas, com as palmas voltadas para baixo, uma ao encontro da outra até que ficassem sobrepostas. Em 8c o gesto se repetiu com uma pequena diferença: uma das mãos estava encurvada com a palma para baixo, como a crista de uma onda, e a outra para cima, como um vale. Os golpes desses gestos ocorreram quando o professor disse frases como “eles se somam” ou “eles sobrepõem”. Depois de manter as mãos sobrepostas por certo tempo, o professor concluiu a unidade gestual, produzindo os gestos 4i, 5n, 7d e 8e, respectivamente. Ele movimentou as mãos que estavam sobrepostas fazendo uma passar pela outra e seguirem em sentidos opostos. Nesse caso, os golpes coincidiram com falas do tipo “continuam andando”. Ao utilizar os mesmos gestos com os mesmos referentes, o professor reforçou certos significados ideacionais do segmento.

Os gestos 3b e 4b, ambos representacionais de ação, assim como o gesto 1d, de descrição figurativa, e o 9c, gesto de modelagem, contribuíram para tornar mais precisa a comunicação do professor. Cada um dos quatro gestos foi produzido em momentos em que o professor enunciava a palavra “direção”, referindo-se, ou ao sentido de propagação dos pulsos, ou ao sentido das fases destes. A coordenação entre a fala e o gesto permitiu inferir que o professor usava a palavra direção como sinônimo de sentido.

Assim como ocorreu no caso dos gestos mencionados no penúltimo parágrafo, encontramos vários outros exemplos de gestos que cumpriram duas funções simultaneamente. Em 5a e 5b, as mãos encurvadas do professor funcionaram como ícones de pulsos ondulatórios, enquanto o movimento do tipo bate e volta, no gesto 5a, e o movimento de passagem de uma das mãos sobre a outra, no gesto 5b, representaram os movimentos dos pulsos produzidos na simulação e projetados no quadro. Esses mesmos gestos se repetiram várias vezes, sobretudo na enunciação SS5. Os gestos 5d, 5f, 5i e 5k foram muito parecidos com o gesto 5a e tiveram golpes, assim como aconteceu com o 5a, coincidindo com a enunciação da frase “eles batem e voltam”. Isso também foi observado como os gestos 5c, 5g, 5j e 5l em correspondência ao gesto 5b. Nesse caso, os golpes dos gestos ocorreram quando o professor falou a palavra “passam” em frases do tipo “eles passam um pelo outro”.

Além dos gestos representacionais de ação, constamos também o uso de muitos gestos dêiticos, sobretudo nas situações em que o professor interagiu com as imagens da simulação projetadas no quadro.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 6.1. RETORNANDO ÀS QUESTÕES DE PESQUISA

O problema que orientou a pesquisa relatada nesta tese foi: como simulações e laboratórios virtuais medeiam o ensino da Física em uma sala de aula na qual um professor experiente faz uso sistemático desses recursos?

As questões concebidas para o enfrentamento desse problema foram: 1- como e com que frequência simulações e laboratórios virtuais são usados na sala de aula desse professor? 2- nessa sala de aula, esses aplicativos de computador desempenham um papel relevante nas atividades mediadas por outros recursos? 3- que potencialidades e limitações nós podemos atribuir ao uso que o professor faz desses aplicativos de computador? 4- como o professor utiliza múltiplos modos de comunicação para mediar a interação dos estudantes com as simulações e os laboratórios virtuais?

Com relação à primeira questão, como podemos verificar nos quadros 12 e 13 do capítulo 4, observamos que o professor coordenou o uso de simulações e laboratórios virtuais com vários outros recursos mediacionais, tais como projeção de slides e vídeos, roteiros com questões e problemas destinados à exploração de fenômenos ondulatórios, listas de exercícios, textos didáticos, inscrições com desenhos e textos no quadro, além de artefatos que permitiram a realização de experimentos.

O professor utilizou simulações e laboratórios virtuais sempre combinados com experimentos realizados a partir da manipulação de artefatos, tais como molas metálicas, caixas de som ligadas a uma fonte de áudio, alto-falantes alimentados por sinais elétricos, dentre outros. Os experimentos com artefatos reais foram usados para: (i) antecipar conceitos posteriormente explorados com os aplicativos; (ii) aprofundar discussões iniciadas com os aplicativos; (iii) comparar resultados de experimentos reais e virtuais; (iv) realizar explorações que não podiam ser feitas com os aplicativos de computador dos quais ele dispunha.

Simulações e laboratórios virtuais foram utilizados em cinco das treze aulas da sequência de ensino. Verificamos também que o uso direto desses aplicativos ocupou 16% do tempo total da sequência de ensino, mesmo percentual ocupado pela manipulação de artefatos para realização de experimentos. Esse dado sugere que o

professor atribui a mesma importância aos experimentos virtuais e reais. Sugere também que o professor tem experiência não apenas no uso de aplicativos, mas também na manipulação de artefatos experimentais e na concepção de experimentos baseados nesse tipo de equipamento.

Voltando agora a atenção para nossa segunda questão de pesquisa, identificamos várias situações em que simulações e laboratórios virtuais serviram de referência para atividades mediadas por outros recursos. O professor fez referência aos aplicativos para sustentar explicações dadas aos estudantes durante a realização de exercícios. Usou capturas de tela para questões usadas em listas de exercício e provas. Propôs atividades extraclasse cuja realização demandava o uso do aplicativo pelos estudantes.

Tratando agora de nossa terceira questão de pesquisa resgatamos um postulado da Teoria da Ação Mediada segundo o qual todo recurso mediacional, tanto possibilita, quanto restringe a ação. Nossa análise nos autoriza a afirmar que a principal potencialidade das simulações e laboratórios virtuais são a facilidade e a agilidade proporcionadas por esses recursos, no que diz respeito à alteração de suas configurações, a fim de simular diferentes condições de produção dos fenômenos em estudo. Essa característica permitiu um controle de variáveis importantes dos fenômenos investigados que seria muito mais difícil de realizar com artefatos experimentais. Nos três segmentos submetidos à análise densa no capítulo 5 desta tese, nós verificamos que essa potencialidade, contribuiu para manter a participação dos estudantes nas atividades mediadas pelo aplicativo, na medida em que ela possibilitou ao professor modificar as configurações para atender às demandas apresentadas pelos estudantes.

Esse tipo de uso dos aplicativos gerou situações nas quais as interações discursivas entre o professor e os estudantes eram iniciadas por esses últimos. Nesses casos, o professor pode interromper, momentaneamente, o desenvolvimento de seu plano de aula e utilizar os aplicativos para dar *feedbacks* aos estudantes. Muitas vezes, esses *feedbacks* provocavam novas falas autorais dos estudantes e novas demandas de manipulação dos aplicativos que estendiam as interações discursivas entre o professor e os estudantes durante um período considerável das aulas. Terminadas essas interações, vimos que os aplicativos permitiam rápidas mudanças de configuração a partir das quais o plano de aula original era retomado pelo professor. Dito de outra forma, vimos que o professor

soube aproveitar as potencialidades do aplicativo para tornar as aulas mais dialógicas e, assim, aumentar a participação dos estudantes, sem prejuízo do cumprimento do tratamento dos tópicos de conteúdo que compunham seu plano de ensino.

Somam-se a essa potencialidade outras duas: (i) a facilidade de realização de medidas em experimentos virtuais realizados com os aplicativos, como, por exemplo, as medidas de distância e tempo feitas com réguas e cronômetros virtuais no aplicativo *Onda em corda*; (ii) a oferta de recursos como *pausa* e *avanço passo a passo* que permitem explicitar aspectos das ondas dificilmente observáveis em experimentos reais que não tenham sido registrados em vídeo. Embora os dados apresentados no capítulo 5 estejam restritos a um único aplicativo - *Ondas em corda* – tanto as observações que compõem a nossa macroanálise, quanto nossa própria experiência com simulações e laboratórios virtuais, nos autorizam a atribuir as mesmas potencialidades a muitos outros aplicativos usados no Ensino de Física. Essas potencialidades estão associadas às características dos próprios aplicativos, mas dependem também das escolhas dos professores ao utilizá-los. Em outras palavras, a manifestação dessas potencialidades em ações mediadas concretamente realizadas em sala de aula depende da orientação pedagógica do professor, do interesse dos estudantes pelo tema em pauta, dentre outros fatores.

No caso específico do aplicativo *Ondas na Corda*, nós verificamos que ele não permite: (i) a representação de pulsos longitudinais; (ii) a alteração da densidade linear da corda; (iii) a visualização de ondas estacionárias como o resultado da superposição de pulsos. Essas limitações levaram o professor a recorrer a outros aplicativos de computador, vídeos, experimentos reais, etc., tendo em vista sua intenção de ampliar o conhecimento dos estudantes em relação aos fenômenos ondulatórios. Essas três limitações desse aplicativo foram identificadas no capítulo 5 desta tese e estão associadas a dois fatores: às características do *software*; às intenções retóricas do professor que orientaram sua utilização em sala de aula. Outros aplicativos, cuja utilização compõe nossos registros em áudio e vídeo da sequência de ensino, e que são mencionados no capítulo 4 desta tese, podem ter mapeadas suas próprias limitações, também associadas aos mesmos dois fatores mencionados acima.

Em relação à quarta questão de pesquisa, constatamos que o professor mediou a interação dos estudantes com os aplicativos por meio de um amplo repertório de modos de comunicação, tais como fala, gestos, comportamento proxêmico, interações com

imagens e inscrições no quadro. A linguagem verbal raramente apareceu isolada dos demais modos de comunicação. Essa constatação coincide com a apresentada em outros trabalhos que também assinalam o caráter multimodal da comunicação nas salas de aula de ciências (LEMKE, 1998; KRESS *et al.*, 2001; PICCININI & MARTINS, 2004; CAPPELLE, 2014; FERRY, 2016).

Nos três segmentos em que o professor utilizou o aplicativo *Onda em corda*, os modos de comunicação gestuais foram importantes, tanto nas situações nas quais ele explicou os significados das inscrições e comandos presentes na tela do aplicativo, quanto naquelas em que ele interagiu com as imagens projetadas no quadro para interpretar, junto aos alunos, os fenômenos ali representados. Esses modos foram empregados de forma redundante ao modo verbal, como um recurso retórico por meio do qual o professor enfatizou ideias e conceitos expressos verbalmente, mas também foram orquestrados com o modo verbal para dar um sentido específico a falas lacunares ou que contêm termos mal empregados (por exemplo, quando o professor utiliza a palavra direção como sinônimo de sentido).

Em relação aos tipos de gestos produzidos pelo professor nos segmentos de aulas analisados no capítulo 5, verificamos que os gestos representacionais de ação e de modelagem foram muito recorrentes. A preferência por esses tipos de gestos nos remete à especialização funcional que podemos atribuir a eles. Os pulsos transversais e as ondas periódicas são fenômenos dinâmicos. Eles são constituídos por movimentos verticais, associados à oscilação do meio, bem como a movimentos horizontais, relacionados à propagação da energia. Gestos representacionais de ação comunicam melhor essas ideias, uma vez que, por meio deles, podemos reproduzir, simultaneamente, tais movimentos. Por outro lado, gestos de modelagem são mais indicados para comunicar conceitos como crista, vale e amplitude. A combinação desses dois tipos de gestos mostrou-se eficaz para representar fenômenos como a propagação, a reflexão ou a superposição de pulsos. A esse respeito, embora nós não tenhamos dados relativos à compreensão dos estudantes sobre essas combinações de gestos, nós pudemos observar diversas ocasiões nas quais eles se manifestaram quando não compreenderam o que o professor estava a lhes dizer. Sendo assim, pudemos interpretar a ausência desse tipo de manifestação como um indício de atos de comunicação bem sucedidos.

A interação com imagens, como era de se esperar, foi outro modo de comunicação muito utilizado pelo professor para mediar a interação dos estudantes com o aplicativo *Onda em corda*. Além de interagir com as imagens por meio de gestos, o professor também produziu inscrições à caneta sobre a lousa, que foram sobrepostas às imagens da tela do aplicativo projetadas no quadro. Com tais inscrições, o professor pôde: (i) acrescentar informações; (ii) destacar pontos da corda a serem observados pelos estudantes.

Os resultados de nossas análises, reunidos sinteticamente nesta seção, nos permitem afirmar que há nessa sala de aula um grande investimento na dimensão fenomenológica da Física escolar. Os conceitos e modelos são apresentados no contexto de exploração de diferentes fenômenos, quer seja por meio de aplicativos ou de artefatos para experimentos. Nesse sentido, os conceitos e modelos são caracterizados como ferramentas, como mediações para o entendimento dos fenômenos e não como objetos últimos da atividade de ensino para as quais os experimentos reais ou virtuais servem de ilustração.

## **6.2. AVALIAÇÃO DO TRABALHO E SUAS POSSÍVEIS CONTRIBUIÇÕES**

Avaliar o próprio trabalho não é uma tarefa simples. Corremos o risco, tanto de supervalorizar nossa produção, quanto de subestimá-la. As contribuições de uma pesquisa como essa só serão conhecidas, de fato, com o tempo e desde que nos dediquemos a divulgá-la por meio de artigos e participação em eventos da área. Todavia, o diálogo com as inúmeras leituras que fizemos ao longo do processo de produção da pesquisa nos permite destacar algumas características do nosso trabalho que, a nosso ver, nos permitem vislumbrar várias de suas contribuições em potencial:

- (i) a ênfase que atribuímos ao papel mediador do professor ao fazer uso de simulações e laboratórios virtuais pode colaborar para que professores em formação inicial e continuada compreendam que introduzir o uso de aplicativos em sala de aula vai muito além de sugerir um uso autônomo, não mediado e espontâneo dos mesmos pelos estudantes;
- (ii) a opção que fizemos de investigar a prática de um professor experiente que atua em ambiente privilegiado, tanto em termos de recursos materiais,

quanto da participação e do interesse dos estudantes pela Física Escolar mostra como as potencialidades e limitações dos aplicativos não podem ser identificadas apenas a partir de suas características de design, mas também das características dos ambientes de ensino e aprendizagem nos quais esses recursos serão utilizados;

- (iii) o esforço para dar visibilidade aos diferentes recursos mediacionais usados pelo professor para mediar a interação dos estudantes com as simulações e os laboratórios virtuais pode contribuir para uma caracterização do tipo de experiência que o professor adquiriu em relação ao uso desses recursos em sala de aula, experiência essa, provavelmente, decorrente de um uso reiterado dos recursos associado a uma avaliação de suas contribuições relativas para o ensino e a aprendizagem;
- (iv) o uso de um esquema analítico com três níveis de análise nos permitiu preservar a relação entre alguns segmentos escolhidos para uma análise densa dos processos por meio dos quais o professor mediu a interação dos estudantes com os aplicativos e os outros episódios de ensino mediados pelo uso de outros aplicativos e de diversos outros recursos e estratégias de ensino aprendizagem mapeados por nossa macroanálise dos dados;
- (v) a concepção de um padrão de transcrição multimodal que nos permitiu investigar o papel de múltiplos modos de comunicação usados pelo professor para que os estudantes compreendessem as inscrições didáticas que compunham os aplicativos e os fenômenos ondulatórios que essas inscrições representam.

Acreditamos que as principais contribuições da nossa pesquisa, tanto para o ensino de ciências, quanto para a pesquisa no campo da educação em ciências, emergem dos itens (i) a (v) acima mencionados. Nossa pesquisa se alinha com aquelas que entendem a comunicação humana como um fenômeno multimodal e, assim, tornam evidente que aprender ciências envolve aprender a utilizar os sistemas de signos constitutivos dos modos semióticos característicos dessa área do conhecimento. Assim, esperamos ter dado nossa contribuição no sentido de reforçar a importância de dispensarmos mais atenção à participação dos diversos modos de comunicação no compartilhamento de significados nas salas de aula de Ciências.

Em relação ao ensino de ciências, acreditamos que a maior contribuição desta pesquisa seja explicitar alguns fatores importantes ao uso de simulações e laboratórios virtuais como mediadores da Física Escolar. Em primeiro lugar, as potencialidades e limitações desses recursos, apontados em nossa pesquisa, servem de alerta para os professores ao planejarem atividades de ensino. Os aplicativos devem ser usados de forma crítica, levando-se em consideração os objetivos a serem alcançados nas diversas situações de uso. Em segundo lugar, a caracterização que fizemos do uso das simulações e laboratórios virtuais na sala de aula, com destaque para o papel mediador do professor, contribui para ampliar o repertório de exemplos de boas práticas docentes e constitui uma orientação importante, tanto para professores com pouca experiência no uso desses aplicativos, quanto para professores em formação.

Em relação às pesquisas sobre o uso de simulações e laboratórios virtuais no ensino de ciências, constatamos, em nossa revisão de literatura, uma carência de trabalhos que investigam o papel mediador do professor no uso de simulações e laboratórios virtuais. Assim, nosso trabalho contribui para suprir parte dessa carência.

Quanto aos aspectos metodológicos, nosso estudo procurou superar o desafio, apontado por Bezemer e Mavers (2011), de elaborar uma transcrição capaz de elucidar para leitor o uso coordenado dos múltiplos modos de comunicação pelo professor. O padrão de transcrição multimodal que concebemos, ao contrário daqueles presentes em outros trabalhos (por exemplo, KRESS *et al.*, 2001, PICCININI & MARTINS, 2004; BEZEMER & MAVERS, 2011, CAPPELLE, 2014), mostrou-se mais viável para a transcrição de episódios mais longos, como os segmentos que transcrevemos. Ele não exige o uso de *softwares* especiais e nem de habilidades específicos de desenho ou de computação gráfica para sua utilização.

Por fim, acreditamos que o esquema analítico com três níveis de análise, adotado em nossa pesquisa, também representa uma contribuição para as pesquisas no campo da educação em ciências, uma vez que ele nos possibilitou olhar em detalhes para as situações de uso das simulações e laboratórios virtuais, bem como ter uma visão geral de toda a sequência de ensino.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, J. ; BARNETT, M. Learning physics with digital game simulations in middle school science. **Journal of Science Education and Technology**, v.22, n.6, p.914-926, 2013.
- ARAÚJO, I. S.; VEIT, E. A. Uma revisão da literatura sobre estudos relativos a tecnologias computacionais no ensino de física. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v.4, n.3, p. 05-18, 2004.
- BEZEMER, J.; MAVERS, D. Multimodal transcription as academic practice: a social semiotic perspective. **International Journal of Social Research Methodology**, v.14, n.3, p.191-206, 2011.
- BRYAN, J. A.; SLOUGH, S. W. Converging lens simulation design and image predictions. **Physics Education**, v.44, n.3, p.264-275, 2009.
- CAPPELLE, V.A. Interações multimodais em uma sala de aula de Biologia. 2014. 184 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Educação, Belo Horizonte.
- CARDOSO, S. O. O. E DICKMAN, A. G. Simulação computacional aliada à teoria da aprendizagem significativa: uma ferramenta para ensino e aprendizagem do efeito fotoelétrico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. Especial 2: p. 891-934, out. 2012.
- CHEN, YU - LUNG ; HONG, YU - RU ; SUNG, YAO - TING ; CHANG, KUO - EN. Efficacy of simulation-based learning of electronics using visualization and manipulation. **Educational Technology & Society**, v.14, n.2, p.269-278, 2011.
- COPPOLA, B.; KRAJCIK, J.; DEGA, B. G.; KRIEK, J.; MOGESE, T. F. Students' conceptual change in electricity and magnetism using simulations: A comparison of cognitive perturbation and cognitive conflict. **Journal of Research in Science Teaching**, v.50, n.6, p.677-699, 2013.
- DORNELES, P.F.T.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Integração entre atividades computacionais e experimentais como recurso instrucional no ensino de eletromagnetismo em física geral. **Ciência & Educação**, v. 18, n. 1, p. 99-122, 2012.
- FERREIRA, A.B. de H. Novo dicionário Aurélio da língua portuguesa. 3. ed. Curitiba, Editora Positivo, 2004.
- FERRY, A. S. Análise estrutural e multimodal de analogias em uma sala de aula de Química. 2016. Tese com defesa prevista para 28/06/2016 (Doutorado em Educação) – Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Educação, Belo Horizonte.
- GEELAN, D. Teacher Explanation of Physics Concepts: a Video Study. **Research in Science Education**, v.43, n.5, p.1751-1762, 2013.

HALLIDAY, M. A. K. Estrutura e função da linguagem. In: LYONS, J. (org.) *Novos horizontes em linguística* (p. 134-160). Tradução de Jesus Antônio Durigan. São Paulo: Cultrix, 1976.

HALLIDAY, M. A. K. *Language as social semiotic: The social interpretation of language and meaning*. London: Edward Arnold, 1978.

HAWKINS, I.; PHELPS, A. J. Virtual laboratory vs. traditional laboratory: which is more effective for teaching electrochemistry? **Chemistry Education Research and Practice**, v.14, n.4, p.516-523, 2013.

HEIDEMANN, L. A.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Ciclos de modelagem: uma proposta para integrar atividades baseadas em simulações computacionais e atividades experimentais no ensino de física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. Especial 2, p. 965-1007, 2012.

HODGE, R.; KRESS, G. *Social Semiotics*. Cambridge: Polity, 1988.

JEWITT, C. *Technology, Literacy and Learning: a multimodal approach*. London: Routledge, 2006.

JEWITT, C. An introduction to multimodality. In: JEWITT, C. (Ed.) *The Routledge Handbook of Multimodal Analysis*, London: Routledge, 2009. Cap. 1, p. 14-27.

JEWITT, C.; KRESS, G.; OGBORN, J. e TSATSARELIS, C. Exploring learning through visual, actional and linguistic communication: The multimodal environment of a science classroom. **Educational Review**, v. 53, n. 1, p. 5-18, 2001.

KENDON, A. Gesture. **Annual Reviews of Anthropology**, v.26, p.109-128, 1997.

KENDON, A. *Gesture: Visible action as utterance*. Cambridge, UK: University Press, 2004.

KHAN, S. New pedagogies on teaching science with computer simulations. **Journal of Science Education and Technology**, v.20, n.3, p.215-232, 2011.

KRESS, G. e van LEEUWEN, T. *Reading images: the grammar of visual design*. London, Routledge, 1996.

KRESS, G. What is mode? In: JEWITT, C. (Ed.) *The Routledge Handbook of Multimodal Analysis*, London: Routledge, 2009. Cap. 4, p. 54-67.

KRESS, G.; JEWITT, C.; OGBORN, J.; TSATSARELIS, C. *Multimodal Teaching and Learning: the rhetorics of the science classroom*. London: Continuum, 2001.

KRESS, G.; OGBORN, J.; MARTINS, I. A satellite view of language: some lessons from science classrooms. **Language Awareness**, v. 7, n. 2 & 3, p. 69-89, 1998.

LAMB, R.; ANNETTA, L. The Use of online Modules and the effect on student outcomes in a high school chemistry class. **Journal of Science Education and Technology**, v.22, n.5, p.603-613, 2013.

LEMKE, J. L. Chapter 8 - Making Meaning: The Principles of Social Semiotics, in *Talking science: Language, learning and values*. New Jersey, Ablex, 1990.

LEMKE, J. L. Multiplying meaning: visual and verbal semiotics in scientific text. In: MARTIN, J. e VEEL, R. (eds.), *Reading Science*. Londres, Routledge, 1998.

MACÊDO, J. A.; DICKMAN, A.G; ANDRADE, I.S.F. Simulações computacionais como ferramentas para o ensino de conceitos básicos de eletricidade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v.29, n. Especial 1: p. 562-613, 2012.

MARTINS, I.; GOUVEA, G.; PICCININI, C. Aprendendo com imagens. **Ciência e Cultura**, v.57, n.4, pp. 38-40, 2005.

MENDES, J. F.; COSTA, I. F.; DE SOUSA, C. M. S. G. O uso do software Modellus na integração entre conhecimentos teóricos e atividades experimentais de tópicos de mecânica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 1, p.2402, 2012.

MOSTELLER, F.; NAVE, B.; MIECH, E. J. Why we need a structured abstract in research. **Educational Researcher**, v. 33, n. 1, p. 29–34, 2004.

PAULA, H. F. As tecnologias de informação e comunicação, o ensino e a aprendizagem de ciências naturais. In: Mateus, A. F. (org.), *Ensino de Química mediado pelas TICs*. Editora da UFMG, Belo Horizonte, 2015.

PAULA, H. F.; ALVES, E. G. Uso de um modelo semiótico para análise dos atos de significação de inscrições didáticas. **Atas do VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Florianópolis, 2009.

PAULA, H. F.; MOREIRA, A. F. Atividade, ação mediada e avaliação escolar. **Educação em Revista**, Belo Horizonte, v. 30, n. 1, p. 17-36, 2014.

PAULA, H. F.; TALIM, S. L. Avaliação de estudantes sobre a prática de produzir registros das atividades de ciências. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 17, n. 1, p. 14-38, 2015.

PAULA, H. F.; TALIM, S. L. Uso coordenado de ambientes virtuais e outros recursos mediacionais no ensino de circuitos elétricos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. Especial 1. 2012.

PEIRCE, C. S. *Semiótica*. Trad. José Teixeira Coelho Neto. São Paulo, Perspectiva, 2005.

PEREIRA, R. R.; MORTIMER, E. F.; MORO, L. Os gestos recorrentes e a multimodalidade em aulas de química orgânica no ensino superior. **Química Nova na Escola**, v. 37, n Especial 1, p. 43-54, 2015.

PICCININI, C.; MARTINS, I. Comunicação multimodal na sala de aula de ciências: construindo sentidos com palavras e gestos. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v.6, n.1, p.21-34, 2004.

PSYCHARIS, S. The computational experiment and its effects on approach to learning and beliefs on physics. **Computers & Education**, v.56, n.3, p.547-555, 2011.

RENKEN, M.D.; NUNEZ, N. Computer simulations and clear observations do not guarantee conceptual understanding. **Learning and Instruction**, v. 23, pp.10-23, 2013 Feb.

ROTH, W. -M.; POZZER-ARDENGHI, L. e HAN, J. Y. Critical Graphicacy: understanding visual representation. Dordrecht: Springer, 2005.

RUTTEN, N.; VAN JOOLINGEN, W. R.; VAN DER VEEN, J. T. The learning effects of computer simulations in science education. **Computers & Education**, v.58, n.1, p.136-154, 2012.

SCALISE, K.; TIMMS, M.; MOORJANI, A.; CLARK, L.; HOLTERMANN, K.; IRVIN, P. S. Student learning in science simulations: design features that promote learning gains. **Journal of Research in Science Teaching**, Wiley Periodicals, Inc., v. 48, n. 9, p. 1050-1078, 2011.

TRUNDLE, K. C.; BELL, R. L. The use of a computer simulation to promote conceptual change: A quasi-experimental study. **Computers & Education**, v.54, n.4, p.1078-1088, 2010.

UDO, M. E.; ETIUBON, R. U. Computer-based science simulations, guided-discovery and students' performance in chemistry. **Modern Applied Science**, v.5, n.6, p.211, 2011.

van LEEUWEN, T. *Introducing Social Semiotics*. London, Routledge, 2005.

VYGOTSKY, L. S. *A formação social da mente*. Trad. José Cipolla Neto. 4. ed. São Paulo, Martins Fontes, 1991.

VYGOTSKY, L. S. *Pensamento e linguagem*. Trad. Jefferson Luiz Camargo. 2. ed. São Paulo, Martins Fontes, 1999.

WERTSCH, J. *La Mente en acción*. Buenos Aires, Aique, 1999.

WERTSCH, J. *Vygotsky y la formación social de la mente*. Barcelona, Paidós, 1988.

ZACHARIA, Z.C.; OLYMPIOU, G. Physical versus virtual manipulative experimentation in physics learning. **Learning and Instruction**, v.21, n.3, p.317-331, 2011.

ZAHOREC, J ; HASKOVA, A ; BILEK, M. Impact of multimedia assisted teaching on student attitudes to science subjects. **Journal Of Baltic Science Education**, v.1, n.3, p.361-380, 2014.

## ANEXOS

### ANEXO I – ATIVIDADES DO TERCEIRO SEGMENTO DE AULA DO DIA 07/10/2013

#### AS ONDAS ELÁSTICAS

#### ATIVIDADES SOBRE O TEXTO

Faça uma leitura das seções 1.1, 1.2 e 1.3 do cap. 1 – **As ondas elásticas e a Acústica** – do livro **IMAGENS DA FÍSICA** de Ugo Amaldi (p. 208 – 213) e responda às questões abaixo.

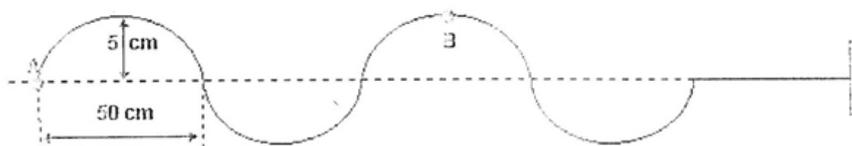
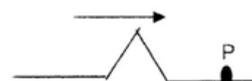
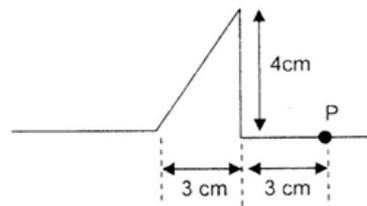
1. Analise a figura 1.2. (a) Quais são a direção e o sentido de propagação da perturbação? (b) Quais são a direção e o sentido de movimento de cada ponto da mola ao ser atingido pela perturbação? (c) Houve transporte de matéria? (d) Houve transporte de energia?
2. Analise a figura 1.3. Por que a parte da mola mais escura se move?
3. Analise a figura 1.4. Descreva o processo de propagação da onda em materiais sólidos.
4. Qual é a diferença entre ondas transversais e ondas longitudinais?
5. Analise todas as figuras destas seções e identifique quais delas representam ondas transversais e quais representam ondas longitudinais.
6. Analise a figura 1.6. (a) Descreva o que acontece com o ponto P ao ser atingido pela onda? (b) O período e a frequência do movimento do ponto P são os mesmos da fonte que produziu a onda?
7. Analise a figura 1.8. Explique o que é o comprimento de onda.

#### EXERCÍCIOS COMPLEMENTARES

1. Quando você assopra na direção de pequenos pedaços de papel, fazendo-os se mover, você está transferindo-lhes energia por um processo ondulatório? Explique.
2. Quando uma gota de chuva cai numa poça de água, forma-se um pulso que se propaga por sua superfície. Este pulso é transversal ou longitudinal?
3. Quando se abre uma panela de feijoadada e o cheiro se espalha pela cozinha, isso se deve a um movimento de matéria ou a um movimento ondulatório?

Para responder às questões 4 e 5, considere que o pulso triangular, indicado na figura ao lado, propaga-se para a direita com velocidade de 3,0 cm/s.

4. Quanto tempo ele leva para atingir o ponto P e passar completamente por ele?
5. Qual é a distância total percorrida pelo ponto P quando o pulso passa totalmente por ele?
6. A figura ao lado representa um pulso transversal que se propaga numa corda, para a direita. Seja P um ponto desta corda. Faça um desenho que representa o movimento do ponto P durante a passagem do pulso por ele.
7. Uma onda é produzida em uma corda, fazendo-se o ponto A oscilar com uma frequência igual a 1.000 hertz ( veja a figura )



- (a) Encontre o comprimento de onda e a amplitude desta onda. (b) Calcule o período de oscilação e a frequência do ponto B. (c) Calcule a velocidade de propagação da onda na corda.

## ANEXO II - ATIVIDADES 1 E 2 DO E-BOOK: ATIVIDADES EM UM LABORATÓRIO VIRTUAL DE ONDULATÓRIA

### Atividade 1- Primeiras explorações do aplicativo *Onda em Corda*

#### Introdução

Existem muitas situações de nosso dia a dia nas quais lidamos com ondas. Basicamente, ondas são vibrações transmitidas através do espaço. Quando falamos com alguém, estruturas delicadas dentro de nossa garganta vibram e aquele com quem falamos só nos escuta porque é atingido pelas vibrações. Quando ouvimos música, nossos ouvidos captam as vibrações produzidas por instrumentos musicais ou caixas de som, que viajam através do ar até nos atingir. Quando ouvimos rádio ou assistimos televisão, nossos aparelhos de rádio ou TV captam vibrações de um tipo especial que são constituídas por eletricidade e magnetismo. Essas vibrações são emitidas por uma estação transmissora ou retransmissora de rádio ou TV para serem, depois, captadas por aparelhos receptores capazes de identificar as características das vibrações e utilizá-las para produzir sons e/ou imagens específicas.

Em todos os exemplos dados no parágrafo anterior, lidamos com ondas que não podem ser observadas a olho nu. Nosso estudo sobre as ondas, todavia, irá começar com um tipo de onda que pode ser observado e que se propaga em cordas ou fios esticados. Muitas das características das ondas que podem ser observadas em uma corda são comuns a todo e qualquer tipo de onda, o que justifica iniciarmos nosso estudo das ondas observando ondas que se propagam em cordas esticadas.

Nesta atividade faremos uso do aplicativo *Onda em corda* ou *wave-on-a-string\_pt\_BR.jar*, disponível no endereço [http://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/wave-on-a-string](http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/wave-on-a-string).

Esse aplicativo proporciona três possibilidades para a geração de ondas. Antes de iniciar as explorações propostas nesta atividade faça simulação escolha umas dessas formas. Para isso, observe, no lado inferior esquerdo, as opções:

- Manual:** Escolhendo essa opção, surge o ícone de uma chave de cano situado na extremidade esquerda da corda; você pode criar uma onda manualmente clicando sobre a chave e movendo-a, enquanto mantém pressionado o botão esquerdo do mouse.
- Oscilador:** Com essa opção você aciona um motor que cria ondas periódicas.
- Pulse:** Cria um pulso isolado a cada click do mouse. Ao selecionar essa opção, aparecerá um botão verde, denominado *Pulso*. Clicando sobre esse botão você cria uma onda-pulso. Se quiser, pode clicar várias vezes consecutivas para criar pulsos sucessivos.

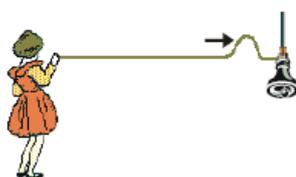
Na área verde, você encontrará quatro botões deslizantes. O botão *Amortecimento* permite atenuar mais ou menos as ondas criadas, enquanto elas são transmitidas através da corda. Pensando em uma situação real, como aquela em que a corda é colocada sobre uma mesa, essa atenuação pode ser provocada, por exemplo, pelo atrito da corda com a superfície da mesa. Experimente criar ondas enquanto varia a atenuação. A partir de então, configure o botão para a situação de atenuação nula. Isso facilitará a compreensão dos conceitos e ideias fundamentais ao estudo das ondas.

Note agora que, no lado inferior direito, o programa oferece três opções diferentes de configuração da extremidade direita da corda:

- Extremidade Fixa:** Essa opção aparece pré-configurada quando carregamos a simulação. Ao escolhê-la, juntamente com a opção "Pulse", você irá notar que um pulso criado pela fonte será refletido na extremidade fixa e voltará a se propagar na corda.
- Extremidade Solta:** Com essa opção, você modifica o modo como as ondas são refletidas na extremidade da corda. Repita os procedimentos sugeridos no item anterior para notar as diferenças entre as duas opções.
- Infinita:** Essa opção (extremidade a uma distância infinita da fonte de vibrações) impede que as ondas produzidas pela fonte sejam refletidas na extremidade da corda. Para compreender os conceitos centrais do fenômeno ondulatório é muito útil ignorar, inicialmente, os efeitos da reflexão. Por essa razão, mantenha a opção *Infinita* selecionada para dar prosseguimentos às explorações propostas neste roteiro.

Note, ainda, que é possível reiniciar o movimento da fonte utilizando a opção *Reiniciar* (retângulo amarelo, na parte inferior esquerda da janela do aplicativo).

As questões propostas nas explorações a seguir irão ajudá-lo a se concentrar nos aspectos mais importantes do estudo que estamos a realizar. Antes e depois de cada questão apresentamos breves orientações sobre as funções disponíveis na simulação.



#### Exploração 1- Afinal, o que uma onda propaga?

Veja a ilustração ao lado. Ela foi apresentada para apoiar a afirmação de que uma onda produzida na extremidade de uma corda transmite energia até a outra extremidade.

Isso permite que um sino amarrado na outra extremidade da corda coloque-se a vibrar ao receber energia mecânica transmitida por uma onda originalmente produzida na extremidade oposta. Configure a simulação para a opção *Extremidade Solta* e imagine que há um sino nessa extremidade. Então, produza um pulso ondulatório em direção a essa extremidade. Note que, na simulação, as bolinhas representam segmentos individuais de uma corda alinhada na direção horizontal. Cada segmento que se põe a oscilar desloca-se, efetivamente, desde a fonte das vibrações, situada na extremidade esquerda da corda, até a outra extremidade? Em livros didáticos, afirma-se que as ondas se caracterizam por sua capacidade de transmitir energia, sem um transporte efetivo de matéria. O experimento virtual que você acaba de realizar é coerente com essa afirmação?

#### Exploração 2- A tensão aplicada sobre uma corda altera a velocidade das ondas?

O programa permite que você possa alterar a tensão na corda, isto é, a força aplicada para esticar a corda. Crie alguns pulsos na corda submetendo-a a diferentes tensões.

O programa possui régua na direção vertical e horizontal que auxiliam nas medidas de comprimento de onda e de amplitude. Para adicionar as

régua, marque a opção *Régua* na barra verde. Clicando sobre as régua você pode movimentá-las.

Para adicionar o cronômetro, necessário às medidas de tempo e, portanto, às medidas de velocidade, marque a opção *Cronômetro*.

### Exploração 3- Quais são as diferenças entre uma onda periódica e um pulso ondulatório?

Ao criar uma onda no programa você poderá observar o movimento de uma onda passo a passo. Para isso basta clicar no botão *Pare/Siga*, na parte inferior central. Ao fazer isso, surgirá à direita desse botão, um novo botão: *Pule*. Clique nesse novo botão algumas vezes para ver o que acontece. Repita esse procedimento para ondas periódicas e para um pulso isolado.

Há um “truque” que pode ser usado para visualizar pulsos ou ondas periódicas, passo a passo, desde o primeiro movimento da fonte. Para fazê-lo: (i) escolha a opção *Pulse* ou *Oscilador*; (ii) mova o botão deslizante *Amplitude*, que aparece na barra verde, até o valor zero; (iii) aperte o botão *Pare/Siga* e note que a expressão *em pausa* aparecerá acima desse botão; (iv) mova o botão deslizante *Amplitude* até um valor qualquer, diferente de zero; (v) Clique várias vezes no botão *Pule* para gerar a onda passo a passo.

### Exploração 4- Ondas periódicas e pulsos viajam na corda com a mesma velocidade?

A essa altura, você já descobriu que a tensão aplicada na corda interfere na velocidade de propagação das ondas. Também já aprendeu a gerar pulsos e ondas periódicas e acompanhar seus movimentos passo a passo.

Utilize esses conhecimentos agora para determinar se ondas periódicas e pulsos viajam na corda com a mesma velocidade. Antes de fazer medidas, faça uma previsão sobre o resultado a ser encontrado, usando apenas sua intuição, ou o conhecimento que já lhe estiver disponível.

### Exploração 5- Movimentos locais estão alinhados com a direção da onda?

Quando as vibrações do meio ocorrem em uma direção perpendicular à direção que define a onda dizemos que lidamos com vibrações “transversais” ou perpendiculares à direção da onda. Quando os pontos do meio vibram na direção que define a onda, dizemos que lidamos com vibrações longitudinais ou, simplesmente, com uma onda longitudinal.

Usando a função passo a passo e observando, preferencialmente, os pontos verdes da corda, escolha um ponto específico para observar. Você pode usar a opção *Régua* e aproximar uma régua do ponto que decidir observar para facilitar essa observação.

Como você descreveria o movimento do ponto escolhido quando ele é atingido pelos dois tipos de onda (pulso ou onda periódica)?

A oscilação do ponto escolhido é transversal ou longitudinal, em relação à direção de propagação da onda?

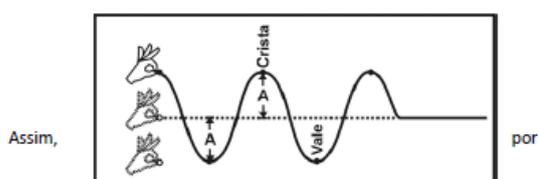
### Exploração 6- Que relação existe entre a frequência e o período?

O tempo necessário para que os pontos da corda executem uma oscilação completa é chamado período e é representado pela letra T. A frequência, por sua vez, equivale ao número de oscilações realizadas em um dado intervalo de tempo. Usando o cronômetro e fixando a atenção em um

ponto específico da corda, é possível fazer medidas de período. A frequência pode ser alterada por meio do botão deslizante situado na área verde. Nota: se decidir clicar no interior da caixa com valores de frequência para digitar um valor específico, fique atento a um mau funcionamento da simulação que trava outras funções. O mau funcionamento pode ser contornado se ligarmos e, em seguida, desligarmos, as funções régua ou cronômetro.

### Exploração 7- A amplitude altera a velocidade da onda?

As vibrações transmitidas na forma de ondas mecânicas perturbam o meio material afastando-o de seu estado de equilíbrio. A medida da amplitude caracteriza o afastamento máximo em relação ao estado de equilíbrio (ver figura abaixo).



exemplo, no caso de ondas produzidas em uma corda esticada, a amplitude corresponde ao máximo afastamento experimentado pelos pontos da corda em relação à linha horizontal.

Ondas de maior amplitude transmitem maior quantidade de energia, a cada segundo. No caso das ondas sonoras, a amplitude das vibrações está associada à intensidade do som.

Crie diferentes ondas mexendo no botão *Amplitude*, que aparece na área verde. Perceba se há mudanças na velocidade de propagação da onda quando a amplitude é alterada. Faça isso para ondas periódicas e pulsos ondulatórios.

Note que o cronômetro pode ser zerado e que a medida do tempo avança aos poucos quando usamos a opção *Passo a Passo*.

### Exploração 8- Quais são os efeitos da alteração da frequência em uma onda periódica?

Uma das características mais facilmente identificáveis em uma onda periódica é conhecida como comprimento de onda (representado pela letra grega  $\lambda$ ). Em um primeiro momento, podemos definir o comprimento de onda como sendo a distância entre dois vales ou duas cristas. Experimente manipular o botão chamado *Frequência*, sem modificar a tensão aplicada sobre a corda. Note que a frequência só pode ser alterada no caso de ondas periódicas, como era de se esperar. Após experimentar várias frequências e observar o movimento ondulatório responda: (i) que relação existe entre a frequência e o comprimento de onda?; (ii) a alteração de frequência modifica a velocidade de propagação da onda?

### Exploração 9- Quais são os efeitos da variação da velocidade em uma onda periódica?

Experimente manter a frequência baixa (no máximo igual a 20 Hz) enquanto promove a variação da tensão aplicada na corda. Agora que você já sabe que alterações na tensão produzem mudanças na velocidade de propagação da onda responda, após gerar ondas periódicas na corda submetida a várias tensões: que relação existe entre a velocidade e o comprimento de onda (isto é, entre a velocidade e a distância entre dois vales ou duas cristas), quando a frequência da onda periódica é mantida constante?

#### Leitura complementar à atividade

A transmissão de ondas-pulso em uma corda pode ser explicada da seguinte forma: 1º- uma deformação é produzida em uma das extremidades da corda; 2º- por estar tensionada, a corda possui elasticidade e, por isso, a região deformada tende a voltar à forma original quando a ação deformadora termina; 3º- para voltar à forma original, a região deformada transmite a deformação para o segmento adjacente da corda; 4º- cada região da corda comporta-se do mesmo modo que a extremidade originalmente deformada e, desse modo, ocorre a propagação da deformação inicial ao longo de toda a corda.

A transmissão de uma onda periódica em uma corda recebe, exatamente, a mesma explicação. Basta imaginar uma onda periódica como constituída de pulsos sucessivos. Por essa razão, ondas periódicas e pulsos viajarão em uma mesma corda, tensionada do mesmo modo, com, exatamente, a mesma velocidade.

Ondas permitem a transmitir energia através de distâncias consideráveis. Todavia, a transmissão de energia faz-se pela realização de pequenos movimentos localizados, não havendo deslocamento de matéria no longo raio de ação que caracteriza a propagação da onda.

Se uma onda mecânica é um fenômeno de transmissão de pequenos movimentos localizados, podemos medir com que velocidade essa transmissão acontece. Tal velocidade depende das propriedades do meio material no qual a onda se propaga. Em outras palavras, para alterar a velocidade de uma onda mecânica é necessário alterar as propriedades do meio material responsável por sua propagação.

Em uma corda, a inércia e a elasticidade são as propriedades gerais que determinam a velocidade de propagação de uma onda mecânica. Em uma corda ou em uma mola, por exemplo, a inércia está associada à densidade linear, enquanto a elasticidade está associada à força utilizada para esticar a mola ou a corda. Em ondas transmitidas em outros meios materiais, são outras as propriedades do meio que determinam a velocidade de propagação. Em geral, a temperatura é um dos fatores relevantes.

Há diferenças significativas na velocidade e na eficiência com que os diferentes meios materiais transmitem vibrações. Geralmente, a velocidade de transmissão é maior em meios sólidos do que em líquidos, e maior em líquidos do que em gases. O quadro a seguir apresenta os valores da velocidade de propagação de ondas mecânicas em diversos meios materiais a 20 °C.

| Material  | Estado  | Velocidade das ondas (m/s) |
|-----------|---------|----------------------------|
| Ar*       | Gasoso  | 343                        |
| Oxigênio* | Gasoso  | 327                        |
| Água doce | Líquido | 1485                       |
| Glicerina | Líquido | 1923                       |
| Alumínio  | Sólido  | 5040                       |
| Chumbo    | Sólido  | 1200                       |
| Cobre     | Sólido  | 3710                       |
| Aço       | Sólido  | 5000                       |

\*Observação: A velocidade de propagação das ondas em meios gasosos foi medida a uma pressão de 1 atmosfera.

A velocidade das ondas depende das características do meio e não é afetada pela frequência das vibrações. Por outro lado, a frequência das vibrações é definida apenas pela fonte, não podendo ser afetada diretamente pelas características do meio no qual a onda se propaga. Uma vez produzidas, as vibrações são transmitidas sempre com a mesma frequência e, mesmo quando há mudança no meio de propagação, não ocorre mudança na frequência das vibrações.

## Atividade 2- Fase, frequência, comprimento e velocidade de uma onda

### Introdução

Várias características de uma onda estão relacionadas umas às outras. Por isso, ao identificar algumas delas, podemos conhecer outras, assim como fazer previsões sobre o comportamento das ondas quando essa ou aquela característica é alterada. Esse tipo de conhecimento teórico sobre os fenômenos naturais é uma das principais características da Física. Agora, você terá a oportunidade de compreender como esse tipo de conhecimento é construído.

Utilizaremos nesta atividade, o aplicativo *Onda em corda*, já utilizado na atividade “*Primeiras explorações em ondulatória por meio do aplicativo Onda em Corda*”. Para fazer a presente atividade, utilize as informações, que constam no tutorial daquela atividade, para configurar o aplicativo de acordo com as solicitações das diversas explorações apresentadas a seguir.

Nas últimas questões e orientações propostas na primeira atividade, nós introduzimos a noção de comprimento de onda e investigamos a relação entre amplitude e velocidade, frequência e comprimento de onda, frequência e velocidade. Na atividade que propomos agora, você terá a oportunidade de compreender melhor essas relações, ao avançar no entendimento do conceito de comprimento de onda de um modo mais adequado, bem como ao conhecer uma equação que relaciona a

velocidade de uma onda, com a sua frequência e o seu comprimento de onda.

### Exploração 1- Identificando as fases da vibração

Quando uma onda periódica se propaga, os pontos do meio atingidos pela onda oscilam com a mesma frequência da fonte das vibrações. Na Física, nós chamamos de FASE cada momento que compõe uma oscilação. A oscilação é considerada completa quando uma dada fase volta a se repetir. Pontos adjacentes em uma onda periódica sempre apresentarão fases diferentes, mas pontos mais distantes podem apresentar, exatamente, a mesma fase.

Configure o simulador do seguinte modo: (i) fonte de vibrações no modo *Oscilador*; (ii) *Amplitude* em 50%; (iii) frequência em 50%; (iv) *Amortecimento* em zero; (v) controle deslizante da *Tensão* na posição máxima; (vi) extremidade a uma distância *Infinita*.

Feito isso, fixe sua atenção no primeiro ponto verde situado à direita da fonte de vibrações e faça a onda avançar passo a passo em direção a esse ponto. Observe com atenção os outros pontos e identifique um ponto que apresenta, em todo e qualquer momento, a mesma fase de vibração do ponto verde. Em outras palavras, verifique se o ponto identificado passará pelas posições de crista, vale e pelas posições intermediárias

entre crista e vale juntamente com o ponto verde tomado como referência. Com a régua, anote a distância horizontal entre os pontos que vibram com a mesma fase. Esse valor será comparado com aquele encontrado quando você realizar as operações descritas no parágrafo seguinte.

Utilize o botão deslizante para posicionar a frequência em 100% e repita os procedimentos descritos no parágrafo anterior. O primeiro ponto verde e o próximo ponto que vibra na mesma fase estão separados por uma distância igual àquela encontrada a partir da realização das operações descritas no parágrafo anterior?

### Exploração 2- Compreendendo as relações entre as várias definições de comprimento de onda

Na atividade “*Primeiras explorações em ondulatória por meio do aplicativo Onda em Corda*” nós apresentamos o comprimento de onda como uma das características mais marcantes de uma onda periódica. Naquela ocasião, o comprimento de onda (representado pela letra grega  $\lambda$ ) foi definido, de modo preliminar, como sendo a distância entre dois vales ou duas cristas. Nesta exploração vamos desenvolver uma compreensão mais sofisticada e adequada do conceito de comprimento de onda. Para fazê-lo, coloque a frequência do simulador em 30%.

Nota: esteja atento a um mau funcionamento da simulação, já mencionada na atividade 1. Esse mau funcionamento consiste no seguinte: se você clicar no interior da caixa com valores de frequência ou de amplitude, para digitar um valor específico, a simulação começa a

travar ao usarmos outras funções. Para contornar esse problema, ligue e, em seguida, desligue as funções régua ou cronômetro.

Depois de colocar a frequência em 30%, utilize o “truque” descrito a seguir e já utilizado na primeira atividade proposta neste *Ebook*, para visualizar ondas periódicas, passo a passo, desde o primeiro movimento da fonte.

O “truque” consiste nos seguintes passos: (i) escolha a opção *Oscilador*; (ii) mova o botão deslizante *Amplitude*, que aparece na barra verde, até o valor zero; (iii) aperte o botão *Pare/Siga* e verifique se a expressão em *pausa* aparece acima desse botão; (iv) mova o botão deslizante *Amplitude* até 50%; (v) Clique várias vezes no botão *Pule* para gerar a onda passo a passo.

Usando o “truque” acima descrito, você estará apto a compreender um segundo modo de definir o conceito de comprimento de onda e pronto para relacionar essa segunda definição àquela definição preliminar de comprimento de onda como “distância entre dois vales ou duas cristas”. A nova definição é a seguinte: o comprimento de onda corresponde à distância percorrida pela onda enquanto a fonte das vibrações realiza uma vibração completa, isto é, corresponde à distância percorrida pela onda durante um intervalo de tempo igual a um período ( $\Delta t = 1 T$ ).

Partindo do zero, faça a fonte executar sua primeira oscilação completa. Com a régua, meça o espaço percorrido pela onda durante o intervalo  $\Delta t = 1 T$ . Feito isso, meça também a distância entre duas cristas.

Nota: quando executar os procedimentos acima descritos outro mau funcionamento do aplicativo pode vir a ocorrer. Esse segundo problema é, provavelmente, gerado pelo “truque” usado para gerar a onda passo a passo, desde o início do movimento da fonte. Às vezes, a frente da onda gerada por meio desse “truque” apresenta um “buraco”, que dificulta a visualização da onda. Se esse “buraco” surgir, faça a fonte vibrar por mais meia oscilação, após o término da primeira oscilação completa, e ignore o segmento da onda onde aparece o buraco.

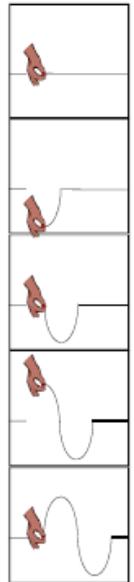
Depois de conseguir produzir a primeira oscilação da fonte na qual aparecem todas as fases de vibrações possíveis, compare o espaço percorrido pela onda durante o intervalo  $\Delta t = 1 T$  (um período) com a distância entre dois vales ou duas cristas os valores. Ao fazê-lo, você estará comparando a segunda com a primeira definição de  $\lambda$  apresentada nesta atividade.

Um terceiro modo de definir o comprimento de onda de uma onda periódica é a seguinte: o comprimento de onda é a distância entre os dois pontos mais próximos de uma onda periódica que apresentam a mesma fase. Para compreender esse terceiro modo de definir  $\lambda$  e a relação entre as três definições de  $\lambda$  apresentadas nesta exploração, fixe sua atenção no primeiro ponto verde situado à direita da fonte de vibrações, faça a onda avançar passo a passo, use as régua como referência e identifique o próximo ponto da corda que apresenta a mesma fase do ponto verde considerado. Meça a distância entre esses dois pontos e compare o valor encontrado com as medidas anteriores de comprimento de onda.

### Exploração 3- A equação que relaciona a velocidade, a frequência e o comprimento das ondas

O comprimento de onda de uma onda mecânica e periódica depende tanto da velocidade da onda, que é definida pelas propriedades do meio material no qual a onda se estabelece, quanto da frequência das vibrações definida pela fonte. Essa dependência encontra-se registrada sinteticamente por meio de uma expressão matemática que relaciona a velocidade, a frequência e o comprimento das ondas. Tal equação será apresentada logo a seguir. Ela pode ser deduzida a partir da definição de velocidade como razão das medidas de espaço percorrido e tempo gasto.

A ilustração ao lado representa uma corda na extremidade da qual será produzida uma vibração. Observando a figura podemos constatar que durante o tempo equivalente a um período ( $T$ ), a onda avança de uma determinada distância, que sabemos agora tratar-se do comprimento de onda ( $\lambda$ ). No caso das ondas periódicas, a cada novo período de vibração da fonte um novo comprimento de onda pode ser visualizado no meio ao longo do qual a onda se propaga.



Como a onda se propaga com velocidade constante em um meio homogêneo, podemos estabelecer uma relação matemática simples entre

a velocidade  $V$ , o tempo  $T$  e o comprimento de onda  $\lambda$ . Relembrando a expressão  $d = V \cdot T$ , iremos estabelecer que:

$$\lambda = V \cdot T \quad (1)$$

Para relacionar o comprimento de onda  $\lambda$  com a frequência  $f$  das vibrações, ao invés do período  $T$ , basta que nos lembremos da relação:

$$f = \frac{1}{T} \quad (2)$$

Mediante um pequeno desenvolvimento algébrico, a combinação da expressão (1) com a expressão (2) nos dá:

$$V = \lambda \cdot f \quad (3)$$

Para interpretar corretamente essa equação é preciso compreender que a velocidade depende das características do meio e não é afetada pela frequência das vibrações. Portanto, a expressão não nos autoriza a afirmar que a “velocidade é diretamente proporcional à frequência”, embora seja essa a informação que poderíamos tirar pela simples análise da equação, sem o conhecimento dos fenômenos que ela representa.

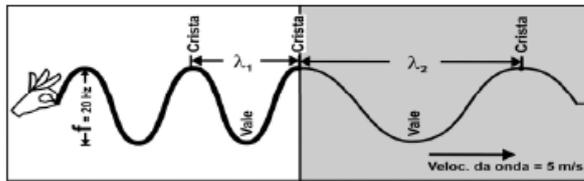
Há uma segunda condição para uma correta interpretação da equação: é preciso compreender que a frequência das vibrações é definida pela fonte. Uma vez produzidas, as vibrações são transmitidas e, mesmo quando há mudança no meio de propagação, não ocorre mudança na frequência das vibrações.

Levando em consideração todas essas informações, parta novamente de uma situação na qual a frequência do simulador é mantida em 30%, e faça previsões sobre alterações no comprimento de onda caso a frequência seja dobrada e triplicada em relação à configuração proposta no início desta terceira exploração. Verifique, usando o simulador, se suas previsões estavam corretas.

A relação entre a tensão e a velocidade de propagação não é linear. Ainda assim, sabe-se que uma redução na tensão produz uma queda na velocidade da onda. Sabendo disso, e utilizando a equação que relaciona a velocidade, a frequência e o comprimento de onda, faça uma previsão qualitativa sobre o efeito de uma redução da tensão no comprimento da onda. Verifique, usando o simulador, se sua previsão estava correta.

#### Leitura complementar à atividade

A figura a seguir mostra vibrações produzidas na extremidade de uma corda grossa que passam a se propagar em uma corda mais fina. Os dados que constam na figura são a frequência das vibrações executadas pelos pontos da corda grossa e a velocidade com a qual as vibrações se propagam na corda mais fina. Analisando a equação que relaciona a velocidade, a frequência e o comprimento das ondas, bem como as informações oferecidas pela figura, nós podemos identificar outras características das ondas que se propagam nas duas cordas.



O último ponto da corda grossa, que está conectado à corda fina, pode ser considerado a fonte das vibrações que se propagam na corda fina. O último ponto da corda grossa, assim como todos os demais pontos dessa corda, vibra 20 vezes por segundo (20 Hz). Mas, já que esse ponto é a fonte das vibrações da corda mais fina, podemos afirmar que todos os pontos da corda mais fina vibrarão nessa mesma frequência. Isso sempre acontece quando uma onda que se propaga em um dado meio passa a se propagar em outro meio: a frequência das vibrações nunca é alterada.

Observando a figura acima, notamos que o comprimento de onda na corda mais fina é maior do que aquele identificado na corda mais grossa. Mas, o que explica esse aumento de comprimento de onda, uma vez que a frequência das vibrações se mantém constante? A explicação para esse fenômeno é simples: a velocidade da onda aumenta na transição da corda mais grossa para a corda mais fina.

### ANEXO III – ATIVIDADE SOBRE RESSONÂNCIA USADA NO SEGUNDO SEGMENTO DE AULA DO DIA 21/10/2013

|                                            |
|--------------------------------------------|
| <b>PROPRIEDADES DAS ONDAS: RESSONÂNCIA</b> |
|--------------------------------------------|

Vamos investigar alguns fenômenos relacionados com a interação entre ondas, oscilações e estruturas que podem vibrar. Parta disso o professor irá fazer várias demonstrações e exibir um vídeo. Use o seu caderno para registrar o que foi apresentado através de desenhos e textos explicativos enquanto responde às questões abaixo.

1. Um exemplo de corpo ou estrutura que vibra ou oscila é o pêndulo. Descreva, com textos e desenhos, o que é um pêndulo.
2. Podemos caracterizar a vibração do pêndulo a partir da frequência ou do período de sua oscilação. O que é a frequência e o período?
3. Do que depende a frequência ou o período de um pêndulo?
4. Observe a demonstração sobre a interação entre estruturas que vibram, representadas por pêndulos de vários tamanhos. Quais são os pêndulos que têm a maior interação quando um deles é colocado para oscilar?
5. Dizemos que, uma estrutura irá vibrar quando excitada por uma onda quanto entra em ressonância com ela. Qual é a condição para que estruturas entrem em ressonância com as ondas que as atingem? O que ocorre com essas estruturas quando entram em ressonância?
6. Observe a demonstração da interação do diapasão com sua caixa de ressonância. Qual é o efeito da caixa sobre a intensidade da onda sonora emitida pelo diapasão? Por que você acha que essa caixa tem o nome de caixa de ressonância?
7. O que acontece quando um diapasão é percutido e colocado próximo a outro diapasão idêntico?
8. Assista ao vídeo sobre a queda da ponte de Tacoma que ocorre em 1940 nos Estados Unidos. Existe alguma relação entre o fenômeno mostrado no vídeo e a demonstração dos pêndulos em interação mostrada antes?
9. A cítara, um instrumento musical indiano, possui um conjunto de cordas que vibram e produzem música, mesmo que o executante nunca as toque. Essas "cordas simpáticas" são idênticas às que são tocadas e são montadas abaixo destas. Qual é a sua explicação para isso?

## ANEXO IV – ATIVIDADE SOBRE INTERFERÊNCIA USADA NA AULA DO DIA 04/11/2013

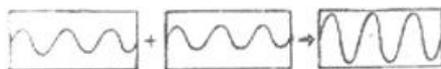
### INTERFERÊNCIA DE ONDAS

Vamos investigar alguns fenômenos relacionados com a interferência entre ondas. Para isso o professor irá fazer várias demonstrações e utilizará simulações. Ao final você poderá compreender o que é uma interferência construtiva e destrutiva. Use o seu caderno para registrar o que foi apresentado através de desenhos e textos explicativos enquanto responde às questões abaixo.

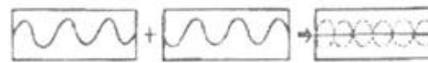
- 1) O que acontece com um pulso quando ele chega à extremidade fixa de uma corda? E se essa corda estiver com a extremidade solta? Podemos dizer que a reflexão do pulso nas extremidades da corda cria outro pulso que caminha em sentido oposto à onda incidente?
- 2) O que acontece quando dois pulsos se encontram? Veja as demonstrações, feita pelo professor, de dois pulsos transversais idênticos, caminhando um na direção do outro. Faça desenhos no seu caderno para ilustrar a situação apresentada e a sua explicação da resposta.
- 3) O que acontece se um dos pulsos descritos na situação da questão anterior está invertido? Faça desenhos no seu caderno para ilustrar a situação apresentada e a sua explicação.
- 4) Preveja o que acontecerá caso os dois pulsos descritos na situação da questão anterior tenham amplitudes diferentes. Observe a simulação que será realizada pelo professor e verifique se sua previsão estava correta.

O mesmo processo de sobreposição e interferência que ocorre com pulsos também ocorre com ondas contínuas. No entanto o resultado é difícil de ser observado mesmo no simulador. Para facilitar o nosso estudo observe as demonstrações feitas no simulador e responda.

- 5) O que acontece com uma onda contínua quando ela chega à extremidade fixa de uma corda? E se essa corda estiver com a extremidade solta? Podemos dizer que a reflexão da onda nas extremidades da corda cria outra onda que caminha em sentido oposto à onda incidente?
- 6) Observe o resultado da sobreposição ou interferência de duas ondas no simulador. A onda resultante tem uma estrutura complexa. No entanto, para ondas com determinadas frequências o resultado é a formação de uma estrutura oscilante de grande amplitude chamada de ondas estacionárias. Quais são as condições para que essas estruturas estejam presentes na corda?
- 7) Como podemos explicar o aparecimento de ondas estacionárias? Para ajudar nessa explicação observe a figura abaixo e também a apresentação do professor de uma simulação (<http://www.walter-fendt.de/ph14e/stwaverfl.htm>) onde ocorre a sobreposição de uma onda incidente e a sua reflexão, ou seja, quando há duas ondas contínuas propagando em sentidos contrários. Podemos dizer que há interferência entre as ondas apenas quando aparecem as ondas estacionárias?-



A superposição de duas ondas transversais idênticas e em fase produz uma onda de amplitude aumentada.



Dois ondas transversais idênticas, mas fora de fase, se destroem quando superpostas.

- 8) Haverá também interferência entre ondas sonoras? As figuras abaixo ilustram o resultado da sobreposição entre duas ondas sonoras longitudinais. Podemos produzir o silêncio sobrepondo dois sons, ou seja, som + som = silêncio?



A superposição de duas ondas longitudinais idênticas e em fase produz uma onda de intensidade aumentada.

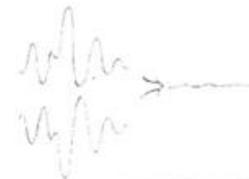


Dois ondas longitudinais idênticas, mas fora de fase, se destroem quando superpostas.

- 9) Observe a demonstração feita pelo professor com as duas caixas de som. Desenhe no seu caderno essa montagem. Como você poderia explicar esse fenômeno?
- 10) Observe a simulação de ondas formadas na superfície do líquido. O que acontece quando produzimos duas ondas simultaneamente na superfície da água? Faça desenhos para ilustrar a sua explicação.
- 11) Podemos produzir interferência em ondas luminosas? Observe a montagem feita pelo professor e a reproduza no seu caderno através de desenhos e explicações.
- 12) A interferência é um fenômeno que ocorre sempre que duas ondas se sobrepõem. Como podemos encontrar os locais onde haverá interferência construtiva e destrutiva quando duas ondas se encontram?

O texto abaixo ilustra uma aplicação interessante do fenômeno de interferência entre as ondas. Leia o texto e relacione-o com as discussões feitas nesta atividade.

*A interferência sonora destrutiva está no coração da tecnologia antirruído. Certos dispositivos ruidosos, tais como britadeiras, agora vêm equipados com microfones que enviam o som produzido pelo dispositivo para um microchip eletrônico, o qual cria um padrão de onda que é uma imagem especular dos sons originais. Este sinal de som especular alimenta, então, um fone de ouvido usado pelo operador da máquina. Dessa maneira, as compressões (ou rarefações) do som produzido pela máquina são canceladas pelas rarefações (o u compressões) do sinal enviado para o fone de ouvido. A combinação dos sinais elimina o ruído do martelo hidráulico. Dispositivos antirruídos também são comuns em algumas aeronaves, que agora são muito mais silenciosas interiormente do que antes do uso desta tecnologia. Será que os automóveis serão os próximos, talvez eliminando a necessidade de um silenciador?*



Quando a imagem especular de um sinal sonoro se combina com o sinal original, os sons se cancelam.