

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

MÁRCIO SANTOS MIRANDA

OBJETOS VIRTUAIS DE APRENDIZAGEM APLICADOS AO ENSINO DE
FÍSICA – UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA DESENVOLVIDA E IMPLEMENTADA
NOS CONTEÚDOS PROGRAMÁTICOS DE FÍSICA ONDULATÓRIA, EM
TURMAS REGULARES DO NÍVEL MÉDIO DE ESCOLARIZAÇÃO QUE
UTILIZAM UM SISTEMA APOSTILADO

SÃO CARLOS

2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

MÁRCIO SANTOS MIRANDA

OBJETOS VIRTUAIS DE APRENDIZAGEM APLICADOS AO ENSINO DE
FÍSICA – UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA DESENVOLVIDA E IMPLEMENTADA
NOS CONTEÚDOS PROGRAMÁTICOS DE FÍSICA ONDULATÓRIA, EM
TURMAS REGULARES DO NÍVEL MÉDIO DE ESCOLARIZAÇÃO QUE
UTILIZAM UM SISTEMA APOSTILADO

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação Em Ensino
de Ciências Exatas da Universidade
Federal de São Carlos, para obtenção do
título de mestre em Ensino de Ciências
Exatas.

Orientador: Prof. Dr. Nelson Studart

SÃO CARLOS

2013

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

M672ov

Miranda, Márcio Santos.

Objetos virtuais de aprendizagem aplicados ao ensino de física : uma sequência didática desenvolvida e implementada nos conteúdos programáticos de física ondulatória, em turmas regulares do nível médio de escolarização que utilizam um sistema apostilado / Márcio Santos Miranda. -- São Carlos : UFSCar, 2014.
126 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2013.

1. Física - estudo e ensino. 2. Ondulatória. 3. Objeto de aprendizagem. 4. Simulação. 5. Aprendizagem significativa.
I. Título.

CDD: 530.07 (20^a)

Banca Examinadora:

N. Studart

Prof. Dr. Nelson Studart Filho
DF - UFSCar, orientador

M. Urban Kleinke

Prof. Dr. Mauricio Urban Kleinke
IFGW – UNICAMP

Alessandra R. Arantes

Profa. Dra. Alessandra Riposati Arantes
IF - UFU

*ensinar não é transferir conhecimento, mas criar
as possibilidades para a sua própria produção ou
a sua construção*

Paulo Freire

Dedico esse trabalho a todos os educadores que contribuem para que as oportunidades de aprendizagem se multipliquem.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Nelson Studart, pelas constantes provocações, análises e contribuições na elaboração desse trabalho que agrega mais um passo importante da minha (trans)formação docente, minha eterna gratidão.

À Profa. Dra. Alessandra Riposati Arantes e aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Exatas, pelas aulas, debates e situações de aprendizagem que enriqueceram minhas práticas pedagógicas, meu eterno reconhecimento.

Aos colegas professores, membros do corpo docente desse programa, pelo companheirismo, amizade e apoio durante todas as disciplinas, estudos coletivos, cursos, discussões, congressos e *workshops*, meu muito obrigado.

Aos diretores, coordenadores, professores, funcionários e alunos do Colégio Anglo Atibaia e Bragança Paulista, pelo apoio, pela confiança, pela parceria e pelo empenho na concretização desse trabalho, meus agradecimentos.

À Profa. Ma. Marcella Abboud, pelas contribuições sintáticas, semânticas, estéticas e ortográficas, sem as quais esse trabalho não teria esse formato final, minha congratulação.

À minha esposa Daniela, e aos meus filhos, Théo e Paco, que nunca duvidaram dos meus sentimentos e souberam me apoiar todo o tempo – inclusive nas minhas ausências – minha mais profunda, completa e eterna gratidão.

RESUMO

O uso dos Objetos Virtuais de Aprendizagem (OA) em sala de aula tem se tornado mais relevante e frequente. Portanto, refletir sobre a atitude de alunos e professores, em situações reais de sala de aula e considerando a inserção de novas tecnologias educacionais, torna-se pertinente e atual. Esse trabalho apresenta uma sequência didática sobre Física Ondulatória, construída a partir das simulações disponibilizadas pela Universidade do Colorado (PhET – *Physics Interactive Simulations*). A abordagem metodológica se baseia na Aprendizagem Significativa de Ausubel e no Método Colaborativo Presencial de Moreira. A sequência foi aplicada em aulas de física de duas distintas turmas do Ensino Médio que utilizam como material didático as apostilas do Sistema Anglo de Ensino. Todas as atividades foram construídas apoiadas em três momentos distintos: preliminar, interação e desfecho planejadas para aulas duplas de 45 minutos cada. Foi fundamental, para avaliação da compreensão dos alunos, o uso contínuo de mapas de conceitos. Ademais, pudemos concluir o que de fato eles haviam aprendido quanto à hierarquização e relação entre os conceitos da Física Ondulatória. O trabalho descrito aqui permite evidenciar a possibilidade de inserção de OA em salas de aula regulares de um ensino médio privado. E o resultado mais importante desse trabalho é, enfim, a mudança nas atitudes, tanto de professor, quanto de alunos, em relação ao comportamento em sala de aula. Depois dessa prática, o professor passou a planejar mais cuidadosamente a aula, tornando o processo autoral e os alunos experimentaram uma posição mais ativa e protagonista no processo de construção do conhecimento.

Palavras-chave: ensino de física, ondulatória, objeto virtual de aprendizagem, simulação, aprendizagem significativa, mapa de conceito.

ABSTRACT

The use of digital learning objects (DLO) in the classroom has become more relevant and frequent. Therefore, reflecting on pupils and teacher's attitude, in real-class situations about the insertion of new educational technologies has proved pertinent and up to date. This paperwork presents a didactic sequence about Physics of Waves using mainly PhET – Interactive Simulations. The methodological approach is based on the Meaningful Learning Theory by Ausubel and coworkers and the Face-to-Face Collaborative Method developed by Moreira. The sequence was applied in two Physics classes of two different Brazilian High Schools which use a Teaching Structured System. All the activities are designed in the form of a preliminary, Interaction with the DLO, and outcome and planned for double 45-minute classes. The continuous use of Maps of Concepts in order to follow the evolution of concepts understanding of the student has allowed to conclude that there have been effective learning gains in the process of hierarchical organization and relationship between the concepts involved in the Physics of Waves. The work described here has shown that it is possible successfully insert DLO in the regular classrooms of a traditional private school. However, the most important result from this work has been the change in the attitudes of students and teacher and their behavior in the classroom. After this practice, the teacher has planned the classes more carefully, introducing new teaching initiatives, and the students have experienced a more active and protagonist role in the process of knowledge building.

Key-words: physics teaching, physics of waves, digital learning objects, simulation, meaningful learning theory, map of concept.

PUBLICAÇÕES E TRABALHOS APRESENTADOS

1 – Apresentações de painéis em *workshops*

a. *Workshop* de inverno do Programa de Pós – Graduação no Ensino de Ciências Exatas – 2013 – São Carlos, SP. “OBJETOS VIRTUAIS DE APRENDIZAGEM APLICADOS AO ENSINO DE FÍSICA – uma sequência didática desenvolvida e implementada nos conteúdos programáticos de física Ondulatória, em turmas regulares do nível médio de escolarização que utilizam um sistema apostilado”. Miranda, M. S.

b. *Workshop* de inverno do Programa de Pós – Graduação no Ensino de Ciências Exatas – 2012 – São Carlos, SP. “OBJETOS VIRTUAIS DE APRENDIZAGEM APLICADOS AO ENSINO DE FÍSICA – uma sequência didática aplicada ao ensino de Ondulatória”. Miranda, M. S.

2 – Apresentações orais em congressos

a. XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF 2011 – Manaus, AM. Comunicação Oral CO37-7 – Tecnologia da informação, difusão tecnológica e o Ensino de Física (Coordenador(a): José André Angotti): “OBJETOS DE APRENDIZAGEM NO ENSINO DE FÍSICA: USANDO SIMULAÇÕES DO PhET”. Miranda, M. S. Arantes, A. R. Studart, N.

(disponível em <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xix/sys/resumos/T0137-1.pdf>)

b. I Workshop Internacional sobre Objetos de Aprendizagem no Ensino de Ciências e Matemática – WIOA 2010 – São Carlos, SP. “O PROJETO TECNOLOGIA EDUCACIONAL EM FÍSICA (PhET)”. Miranda, M. S.

(disponível em http://www.ufscar.br/wioa2010/ch_programacao.php)

3 – Artigo em revista

Objetos de aprendizagem no ensino de física. Física na Escola, v. 11, n. 1, 2010.

Miranda, M. S. Arantes, A. R. Studart, N.

(disponível em <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol11/Num1/a08.pdf>)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de elaboração e desenvolvimento das simulações produzidas pela Universidade do Colorado (PhET) – fonte: Wieman (2010).

Figura 2 – Tela de abertura da simulação Ondas de Rádio. Nessa simulação, é possível enviar e receber um sinal eletromagnético (gerado pela oscilação manual ou periódica do elétron), visualizando a onda e/ou os vetores representantes do campo eletromagnético. Disponível em http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/radio-waves.

Figura 3 – Tela de abertura da simulação *Sound*. Nessa simulação, é possível enviar e receber um sinal sonoro (gerado pelo alto falante) visualizando a onda por meio da compressão e rarefação do meio; as abas possibilitam as interações descritas e os controles determinam as características da onda gerada, além da escolha do referencial utilizado para recepção do sinal. Disponível em http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/sound.

Figura 4 – Tela de abertura da simulação *Wave-on-a-string*. Nessa simulação, é possível gerar pulsos e ondas que se propagam numa corda elástica; são possíveis de controle também a extremidade da corda (fixa, solta ou sem fim – ausência de reflexão) e as características do meio (amortecimento e tensão). Disponível em http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/wave-on-a-string.

Figura 5 – Tela de abertura da simulação Interferência de ondas. Nessa simulação, é possível gerar pulsos e ondas mecânicas e eletromagnéticas que se propagam na água, no ar ou no vácuo; são possíveis de controle também a frequência e amplitude das ondas e as características de obstáculos (barreiras e fendas) colocados no meio no qual a onda se propaga. Disponível em http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/wave-interference

Figura 6 – Mapa do aluno E (1ª atividade)

Figura 7 – Mapa do aluno G (1ª atividade)

Figura 8 – Mapa do aluno I (1ª atividade)

Figura 9 – Mapa do aluno B (1ª atividade)

Figura 10 – Mapa do aluno D (1ª atividade)

Figura 11 – Mapa do aluno H (1ª atividade)

Figura 12 – Mapa do aluno A (1ª atividade)

Figura 13 – Mapa do aluno F (1ª atividade)

Figura 14 – Mapa do aluno C (1ª atividade)

Figura 15 – Mapa do aluno A (1ª atividade)

Figura 16 – Mapa do aluno A (4ª atividade)

Figura 17 – Mapa do aluno D (1ª atividade)

Figura 18 – Mapa do aluno D (4ª atividade)

Figura 19 – Mapa do aluno B (1ª atividade)

Figura 20 – Mapa do aluno B (4ª atividade)

Figura 21 – Mapa do aluno C (1ª atividade)

Figura 22 – Mapa do aluno C (4ª atividade)

Figura 23 – Mapa do aluno F (1ª atividade)

Figura 24 – Mapa do aluno F (4ª atividade)

LISTA DE SIGLAS

AS – Aprendizagem Significativa
BIOE – Banco Internacional de Objetos Educacionais
CENP – Coordenadoria de Ensino e Normas Pedagógicas
ComPADRE – *Physics and Astronomy Education Communities*
EE – Escola Estadual
ENDIPE – Encontro Nacional de Didática e Prática de Ensino
FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FAI – Física Auto – Instrutiva
FE – Faculdade de Educação
FUVEST – Fundação Universitária para o Vestibular
GREF – Grupo de Reelaboração para o Ensino de Física
MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia
MEC – Ministério da Educação
MERLOT – *Multimedia Educational Resource for Learning and Online Teaching*
OA – Objeto virtual de Aprendizagem
PCN – Parâmetros Curriculares Nacionais
PEF – Projeto de Ensino de Física
PhET – *Physics Interactive Simulations*
PPGECE – Programa de Pós – Graduação em Ensino de Ciências Exatas
PSSC – *Physical Science Study Committee*
PBEF – Projeto Brasileiro de Ensino de Física
SAE – Serviço de Apoio ao Estudante
SNEF – Simpósio Nacional de Ensino de Física
UEG – Universidade Estadual de Goiás
UFF – Universidade Federal Fluminense
UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais
UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto
UFSCar – Universidade Federal de São Carlos
UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro
UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relaciona as atividades da sequência didática.

Tabela 2 – Relaciona a programação do Sistema Anglo de Ensino adotado pelo colégio.

Tabela 3 – Datas de realização das atividades da sequência didática.

SUMÁRIO

PUBLICAÇÕES E TRABALHOS APRESENTADOS	10
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE SIGLAS	13
LISTA DE TABELAS	14
1. INTRODUÇÃO	16
1.1 Cenário	16
1.2 Histórico	18
1.3 Projeto	23
1.4 Objetos Virtuais de Aprendizagem	25
1.5 PhET (<i>Physics Interactive Simulations</i>)	28
2. PRESSUPOSTO TEÓRICO: Aprendizagem Significativa (AS)	36
3. PROPOSTA	45
3.1 Sequência Didática	45
3.1.1 Conceito	45
3.1.2 Estrutura	45
3.1.3 Atividades	46
3.2 Análise da Sequência Didática	47
4. IMPLEMENTAÇÃO	52
4.1 Cenário e Atores	52
4.2 Registros	53
4.3 Diário de Atividades	54
4.4 Ajustes	68
5. RESULTADOS e CONCLUSÕES	70
5.1 Resultados	70
5.2 Conclusões	95
5.2.1 Aula	95
5.2.2 Alunos	97
5.2.3 Professor	99
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	102
REFERÊNCIAS	106
APÊNDICE – Sequência Didática	109

1. INTRODUÇÃO

1.1 Cenário

Esse trabalho de mestrado profissional, sobre objetos virtuais de aprendizagem aplicados à sala de aula, teve como produto a elaboração de uma sequência didática, na qual o aluno assume um papel de destaque na condução do processo enquanto o professor planeja, elabora e conduz as interações dos alunos com o seus pares e com o conhecimento. O principal mérito desse produto consistiu na aplicação efetiva das atividades planejadas, inseridas no tempo e no espaço rígidos e sacramentados de uma escola particular típica, estruturada em aulas formatadas por um sistema de ensino apostilado, que possui um corpo discente com propósitos muito claros em relação ao ingresso no ensino superior e, portanto, ciente da necessidade de aprovação nos exames vestibulares. O recorte dos recursos disponíveis nos levou à utilização de simulações elaboradas e disponibilizadas pela Universidade do Colorado (PhET – *Physics Interactive Simulations*), resultando na construção de 8 atividades, distribuídas em 16 aulas, sobre Ondulatória. Essa sequência foi utilizada como programação curricular ora substituindo, ora complementando, o material apostilado, durante o período previsto para abordagem do assunto. Sua aplicação durou 2 meses e meio, aproximadamente, entre setembro e novembro de 2011, em duas turmas de segunda série do nível Médio de escolarização, em duas unidades localizadas nas cidades de Atibaia e Bragança Paulista. A descrição do projeto de trabalho, uma breve discussão dos significados atribuídos aos objetos virtuais e a apresentação do programa desenvolvido pela Universidade do Colorado podem ser encontradas no capítulo 1.

A construção da sequência didática teve como referencial teórico a Aprendizagem Significativa de Ausubel (1969), e a sua dinâmica de implementação baseou-se no Método Colaborativo Presencial de Moreira (2010), ambos apresentados no capítulo 2. Já a sequência em si, propriamente dita, com todas as perguntas utilizadas, pode ser localizada, num texto não formatado, no capítulo 3 (seção 3.1.1 atividades) e da maneira com a qual foi utilizada nas turmas em sala de aula, no apêndice. Nesse mesmo capítulo 3, existe também uma análise das intenções iniciais que justificam cada escolha, em cada atividade planejada. Como as aulas no colégio

são sempre aulas duplas e possuem 90 minutos de duração, as etapas de introdução da aula (preliminar de 20 minutos), interação com os objetos virtuais (interação – 40 minutos) e aplicação das ideias (desfecho de 20 minutos) aconteciam num mesmo encontro.

No capítulo 4, apresentamos o diário de campo da implementação da sequência didática e fizemos, em seguida, uma análise desse processo, que teve como objetivo trazer mais elementos para os professores que desejarem se apropriar da sequência, conhecendo os caminhos que ela tomou. É óbvio que o percurso é sempre próprio de cada professor, pois ele faz as escolhas e conduz o processo da forma que lhe for conveniente.

No capítulo 5, realizamos uma discussão, organizando, separadamente, resultados e conclusões. Nos resultados, analisamos os mapas de conceitos construídos por alguns dos alunos, em dois momentos distintos, que evidenciam, além da esperada heterogeneidade inicial do grupo, os avanços na hierarquização de conceitos presentes em Ondulatória. Esse ganhos, na nossa opinião, revelam o desenvolvimento dos subsunçores relacionados aos fenômenos ondulatórios, evidenciando a ampliação da rede de conceitos dos alunos. As conclusões foram organizadas sob três diferentes aspectos (que certamente se sobrepõem, mas foram aqui separados apenas como forma de condução das análises, pois não possuem delimitações claras entre si que os diferenciem): escola/aula, alunos, professores. De uma maneira geral, foi possível perceber um engajamento substancialmente maior e melhor dos alunos nas aulas, medido de forma indireta pelas impressões percebidas como professor, mas também pela ausência de alunos de recuperação (que estariam abaixo da média) ao final do trimestre em que foi utilizada a sequência didática.

No capítulo 6, tecemos as considerações finais apontando adjetivos que, em nossa opinião, qualificam a sequência didática e servem como indicadores de que os objetivos, inicialmente propostos, foram atingidos. Tínhamos como objetivo principal a elaboração e implementação da sequência didática que fosse capaz de subverter o processo de ensino-aprendizagem. Para isso, levamos o aluno para o centro da ação, como protagonista principal (embora o professor sempre tenha o papel de destaque no planejamento e mediação das interações), pois acreditávamos que isso seria capaz de engajá-los de forma construtiva no processo, contribuindo para que suas

representações fossem ampliadas e enriquecidas nas relações que seriam capazes de estabelecer sobre a temática em questão. Dessa forma, essa sequência didática precisava mostrar sua viabilidade, o envolvimento dos alunos, a transformação do processo, o respeito ao tempo próprio de cada aluno assimilar e acomodar o conhecimento, que aflorasse a criatividade, levando significado a todos os envolvidos. Esperamos que os próximos capítulos e suas seções possam inspirar professores na construção das suas sequências, como protagonistas dos seus percursos profissionais.

1.2 Histórico

Minha história como professor começa em 1994, ano em que ingressei na graduação em física, na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e fui lecionar, no mesmo ano, na rede pública estadual, na cidade de Jundiaí. Durante a graduação, como projeto de iniciação científica, trabalhei com o professor Doutor Décio Pacheco, na Faculdade de Educação (FE) da UNICAMP. Meu projeto de iniciação científica consistia na investigação do papel da experimentação no ensino de física nas décadas de 60, 70 e 80. Esse projeto foi financiado pelo Serviço de Apoio ao Estudante (SAE) da UNICAMP, e durou de novembro de 1995 a outubro de 1996. Durante o trabalho, analisei os projetos de ensino: PSSC (*Physical Science Study Committee*), PEF (Projeto de Ensino de Física), FAI (Física Auto-instrutiva) e o PBEF (Projeto Brasileiro de Ensino de Física), procurando verificar quais eram as concepções de ciência e aprendizagem utilizadas em seu embasamento teórico, e quais eram os papéis de alunos e professores imaginados para sua implementação.

No final do ano, em 1996, a convite do professor Décio, tornei-me assistente de pesquisa num projeto financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), na linha de melhoria do ensino público, desenvolvido junto à E. E. Barão Geraldo de Rezende, em Campinas. Esse projeto tinha como objetivo investigar e transformar a prática didática das aulas de física, tendo como diretriz metodológica a análise de fenômenos físicos. Trabalhamos conosco, neste projeto, dois professores de física regularmente contratados da escola na implementação de um curso de física para os três anos do ensino médio, construído de

forma colaborativa. Tínhamos como referência metodológica a pesquisa-ação, desenvolvida pelos próprios professores acerca da sua prática, além do nosso olhar como observadores externos. A dinâmica, que se desenrolou até o fim do projeto, era baseada numa reunião preliminar realizada por mim e pelo professor Décio, na qual decidíamos que discussões seriam realizadas com os professores ora sobre conteúdos físicos, ora sobre elementos de pesquisa, ou mesmo sobre teorias de ensino-aprendizagem que estudaríamos de forma coletiva e colaborativa. Nas reuniões com os professores, definíamos quais seriam as atividades que usaríamos em sala de aula e estudávamos os conteúdos pertinentes ao desenvolvimento do projeto. Esse trabalho nos rendeu a participação em uma mesa redonda, com o professor Décio e um painel na sessão de troca de experiências, em colaboração com os professores, ambos no IX Encontro Nacional de Didática e Prática de Ensino (ENDIPE) de 1998, realizado em Águas de Lindóia, no estado de São Paulo.

Esse breve percurso acadêmico trouxe, sem dúvida nenhuma, consequências para minha prática de sala de aula no que se refere aos projetos de ensino que podem ser traduzidos nas diferentes ações realizadas na minha carreira como professor. Embora essas empreitadas possam ser definidas como tentativas sem respaldo acadêmico e que, certamente, estão repletas de erros e acertos, elas embasam minhas crenças pedagógicas e, de certa forma, justificam em parte, escolhas que aconteceram nesse trabalho de mestrado. Contando apenas com registros esparsos (algumas fotografias e boas recordações acerca da realização dos projetos), relato a seguir alguns ensaios de trabalhos realizados com alunos, antes deste projeto de mestrado, que têm em comum o fato de colocarem o aluno como protagonista do processo de aprendizagem. Permitir que o aluno fosse considerado como foco do processo de aprendizagem também foi elemento importante deste trabalho de mestrado. A partir do livro “Uma abordagem Piagetiana para o Ensino de Flutuação dos Corpos”, da professora Maria Lúcia V. S. Abib, ofereci um curso extracurricular experimental sobre flutuação de corpos, que foi realizado no contra-turno dos alunos. Esse projeto durou 2 meses e foi realizado com alunos da primeira série do ensino médio numa escola particular da cidade de São João da Boa Vista, no ano de 1998.

Outra tentativa, considerada por mim motivadora para os alunos, aconteceu nos anos de 2000 e 2001 em aulas de laboratório de física para alunos de

ensino médio. Nesses anos, nessa escola particular da cidade de Campinas, montei um programa experimental baseado na aprendizagem pautada nas escolhas dos materiais experimentais que seriam utilizados pelos alunos para resolver uma situação problema. A título de exemplo, realizei com alunos uma competição de catapultas construídas por eles. Depois de apresentar um trecho do filme “Gladiador”, em que batalhas aconteciam com lançamento de projéteis, propus uma data para a grande competição. Seriam duas provas: lançamento de precisão e lançamento de maior alcance. Na aula experimental inicial, deixei sobre a bancada diferentes tipos de palito de madeira (churrasco, sorvete, dente) e distintos tipos de elástico (de dinheiro, de roupa, de estilingue) para que as escolhas dos materiais fossem dos alunos. Paralelamente, estudávamos os conceitos físicos presentes nos lançamentos de projéteis.

Em 2002, elaborei uma visita ao parque de ciências Tecnorama, localizado na cidade de Águas de Lindóia, para ser realizada com alunos de ensino médio. Neste parque, havia inúmeras montagens experimentais montadas de forma que os alunos pudessem interagir com elas, percebendo regularidades e diferenças. Esse projeto tinha como objetivo oferecer aos alunos uma forma distinta de avaliação. Pensava em resgatar uma análise conceitual dos fenômenos físicos, e, com isso, motivar os alunos (e também contribuir para o aumento da sua autoestima) que não tinham muita familiaridade e facilidade com a manipulação de símbolos algébricos. Porém, não queria, como professor, exigir um simples relatório de viagem. Gostaria que os alunos lessem e escrevessem sobre física de forma criativa. Para isso, com o auxílio de um professor de redação, montei uma coletânea de textos que falavam de física de diferentes formas. Junto com a coletânea, vinha a proposta de elaboração de um texto, de forma livre e criativa, mas que, necessariamente, deveria abordar um fenômeno físico presente numa das montagens experimentais visitadas no Tecnorama. Os resultados foram impressionantes: de cartas a poesias, passando por panfletos e textos jornalísticos.

Por fim, relato uma última experiência pedagógica que foi realizada no início de 2003. Esse registro, em minha opinião, é o mais importante, pois reflete um resumo de crenças e práticas que foram se consolidando na minha prática pedagógica. Após receber um convite para conhecer o Laboratório Educativo do Hopi Hari, com a finalidade de desvendar o potencial educativo do parque e assistir a uma palestra sobre

as possibilidades de trabalho pedagógico nas suas dependências, fiquei perturbado com a frase proferida pelo palestrante “Venha para o Hopi Hari com o seu projeto que nós faremos tudo que for possível para torná-lo realidade”. Confesso que nunca tinha pensado na possibilidade de levar alunos para estudarem física num parque de diversões por inúmeras razões: por receio que a atividade pedagógica virasse apenas passeio, por medo dos alunos fazerem alguma pergunta para qual eu não estivesse preparado, por me sentir inseguro em relação à física do mundo real, que não se apresenta organizada em conteúdos escolares e com os recortes próprios das aulas de física (superfícies extremamente lisas, resistência do ar desprezível, entre outras). Voltei, com aquele incômodo na cabeça, para o mundo real de todas as aulas que ministrava semanalmente; porém, após algumas semanas de maturação, o incômodo virou projeto. No mês de maio, de acordo com a programação dos conteúdos presente no material adotado pelo colégio, estudaríamos movimentos de corpos realizados próximos à superfície da Terra. Apoiado pelo coordenador, iniciei um projeto que culminaria numa visita ao Hopi Hari para investigar a atração *La Tour Eiffel*, mais conhecida como “elevador”. Isto é, uma gôndola com 4 ocupantes que cai de quase 70 metros de altura, sendo desacelerada nos últimos 30 metros por um freio de indução eletromagnética. Durante a elaboração do projeto, fiz algumas visitas ao Hopi Hari para conhecer melhor a atração e me certificar do que poderia ser feito e o que não poderia, em razão da segurança. Confesso que minha apreensão só terminou quando os alunos chegaram de volta na escola ao final do dia da visita. Nessas conversas com funcionários de operação e engenharia do parque, aprendi detalhes de funcionamento da atração e aspectos operacionais da visita como, por exemplo, que os alunos poderiam entrar nas dependências do parque antes da abertura normal para a entrada dos visitantes e teríamos a atração disponível para nós, durante 40 minutos.

A elaboração do projeto se baseou na abordagem do GREF – Grupo de Reelaboração do Ensino de Física da USP. Em 1999, no SNEF (Simpósio Nacional de Ensino de Física) conheci esse trabalho e tomei contato com o material do aluno que estava sendo divulgado. Gostei da ideia de começar um assunto pelo que os alunos pensam e já conhecem e organizei um painel sobre queda livre. Para contextualizar o assunto apresentei três trechos de filmes (dois deles faziam sucesso na época entre os alunos: *Homem-Aranha* e *Triplo X*; o outro tinha ganhado o prêmio de melhor efeito

especial: *Apollo 13*). A partir das cenas, que tinham pessoas caindo e astronautas no espaço, elaborei 4 perguntas que deveriam, num primeiro momento, ser respondidas individualmente pelos alunos e que abririam caminho para o painel montado. Dele, concluímos que estudaríamos queda livre, e, então, perguntei: o que eles gostariam de saber sobre essa temática; como gostariam de investigar essas questões; e onde poderíamos fazer isso. Muitas sugestões surgiram e, entre elas, a visita ao Hopi Hari. Essa sugestão veio quase como uma brincadeira de um aluno, mas eles não sabiam que eu já vinha planejando isso para eles. Foi muito curiosa a reação dos alunos quando eu disse: “Certo! Vamos para o Hopi Hari! Mas, para sairmos daqui, precisamos de um projeto e nesse projeto quero saber o que vocês querem investigar lá, sobre queda livre, usando a atração conhecida como elevador.” A partir daí, os alunos começaram a trabalhar em grupos montando sua pergunta e sua metodologia de investigação. Alguns queriam saber quando o elevador começava a frear, outros queriam medir sua altura, enquanto havia aqueles que queriam calcular a velocidade máxima. Com tudo planejado, visitamos o parque na data agendada. Eram mais de 100 alunos, de três turmas de primeira série do nível Médio, que se espalharam em volta da atração medindo, fotografando, filmando para conseguir responder a pergunta elaborada pelo seu grupo. Esse trabalho terminou no fim do ano, com uma mostra científica da pesquisa feita pelos alunos de temas decorrentes da visita ao Hopi Hari como, por exemplo, viagens espaciais e treinamentos de astronautas, biografias de Newton e Galileu, entre outros. De certa forma, esse trabalho realizado despertou o interesse do Hopi Hari. A diretoria do parque gostaria que outros professores realizassem experiências semelhantes e me convidou para trabalhar com formação de professores. Naquele momento, a Secretaria Estadual de Educação e Hopi Hari assinavam um termo de cooperação para formação de professores, nas dependências do parque. Mais de 2 mil professores participaram de um curso de 8 horas, realizado no Hopi Hari, que foi desenvolvido e realizado por mim, com a colaboração da CENP – Coordenadoria de Ensino e Normas Pedagógicas da Secretaria de Estado da Educação.

A partir desses relatos, é possível identificar duas características que sempre estiveram presentes nas práticas desenvolvidas: a importância da sala de aula como espaço para pensar e o papel protagonista do aluno no processo de construção do conhecimento. Ainda que os projetos realizados tenham sido pontuais, eles

refletem uma necessidade, presente na minha prática pedagógica, de criar mecanismos de envolvimento do aluno nos processos, retirando-os da postura tradicionalmente passiva da sala de aula. Essa pontualidade dos projetos é considerada por mim, hoje, como um entrave ao processo, pois as aulas tradicionais não são substituídas pelo projeto que serve, na realidade, como complemento ao processo, ainda, predominantemente, composto por aulas expositivas. Esses projetos não tinham consistência de sequência didática estando, portanto, aptos a substituir por completo o que se faz tradicionalmente: transmitindo conteúdos e resolvendo exercícios na lousa. Por melhores que fossem as estratégias expositivas escolhidas, elas ainda colocavam o aluno como agente passivo do processo e não possibilitavam seu real protagonismo. Por outro lado, a construção de uma sequência didática permite um planejamento mais completo e abrangente, contemplando estratégias diversificadas e complementares que englobam momentos expositivos, mas vão além disso. Esse trabalho de mestrado, que tem como produto a elaboração de uma sequência didática, foi possível em virtude do contato, nessa minha trajetória acadêmico-profissional, com a disciplina de Física na *WEB*, do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Exatas, oferecida pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), pois nela foram apresentados e discutidos objetos virtuais de aprendizagem e, em especial para essa dissertação, as simulações aplicadas ao ensino de física.

1.3 Projeto

O presente trabalho de mestrado consistiu no desenvolvimento e implementação de uma sequência didática elaborada para o ensino de Ondulatória. Ela foi realizada em duas turmas de segunda série do nível médio de escolarização, em duas unidades do sistema Anglo de ensino, nas cidades de Atibaia e Bragança Paulista, localizadas no interior do estado de São Paulo. Embora a estrutura escolar siga o modelo tradicional, com aulas predominantemente expositivas e, portanto, centradas na figura do professor, o trabalho foi realizado com o propósito de subverter o processo. Mesmo sem uma sala de aula equipada com computadores, os objetos virtuais de aprendizagem estiveram presentes nas atividades, sendo utilizados pelos alunos, que colaboraram com o processo trazendo equipamentos portáteis em

quantidade suficiente para que tivéssemos, cerca de, 3 alunos por microcomputador. Esse trecho da programação dos conteúdos previa o estudo dos fenômenos ondulatórios em, aproximadamente, 2 meses de aulas. Dessa forma, a sequência didática foi construída e inserida, nesse período, ora em substituição ora de maneira complementar ao material apostilado. Porém, a abordagem que foi implementada permitiu colocar o aluno como protagonista do seu processo de aprendizagem, além de contemplar o uso de objetos virtuais de aprendizagem, que, para nós e para a grande maioria dos professores, é fundamental nos tempos atuais nos quais os alunos são considerados nativos digitais, em função da facilidade de acesso aos equipamentos e à rede mundial de computadores. De forma mais específica, o trabalho propôs o uso de simulações aplicadas ao ensino de física.

Esse sistema de ensino é marcado pela forte tradição de incentivar e privilegiar o uso de aulas essencialmente expositivas para o cumprimento da sua programação, como já foi mencionado. As salas de aula são montadas no estilo tradicional, com carteiras voltadas para a lousa e, conseqüentemente para o professor, que se situa diante dela e à frente dos alunos. Mesmo que as salas possuam um equipamento multimídia de projeção, ele serve às apresentações expositivas e demonstrativas. Como era de se esperar, em função da montagem tradicional, a sala não dispunha de bancadas que privilegiasse o trabalho dos alunos em pequenos grupos. Além disso, o colégio não dispunha de laboratório ou sala de informática. Entretanto, nessas unidades em que o trabalho de mestrado foi realizado, existia uma abertura e um apoio ao trabalho do professor na escolha das estratégias complementares que contribuíssem para um ensino mais eficaz e significativo. Isso reflete, em minha opinião, uma confiança no trabalho do professor e na crença de que ele é autor da sua prática, sendo integralmente responsável pelas escolhas realizadas e por todo processo criativo que envolve a sala de aula, mesmo “preso” a um sistema apostilado de ensino.

A fim de resolver a falta de laboratório de informática com equipamentos disponíveis para utilização pelos alunos, verificamos uma certa facilidade e uma grande disponibilidade, em função do poder econômico das suas famílias, de que os alunos trouxessem computadores pessoais portáteis para a sala de aula, nos dias de realização de atividades específicas, de acordo com o cronograma do projeto. Contamos com um canal digital de comunicação sugerido e criado pelos

próprios alunos, que já era de ampla utilização deles: um grupo fechado na rede social *Facebook* para que os recados, lembretes, comentários, dificuldades e observações pudessem ser feitas de forma coletiva. Embora também tenha sido resolvido pelos alunos, outro entrave decorrente da utilização de computadores numa sala de aula adaptada, foi a falta de tomadas disponíveis e estrategicamente localizadas. Os equipamentos não dispunham de autonomia suficiente e necessitavam estar ligados a rede de energia elétrica.

1.4 Objetos Virtuais de Aprendizagem

Parecem existir tantas definições do que seja um Objeto de Aprendizagem (OA) quantos aqueles que o produzem. Segundo Wiley (2000), um OA pode ser qualquer fonte digital que poderá ser reutilizada para a aprendizagem. Esta definição inclui imagens, fotos, trechos de vídeos, animações, páginas na *web* entre outros. Mais recentemente, Nash (2005) conceitua OA como blocos de informação que estão à disposição do professor para que este os conecte da maneira que achar mais eficiente para o processo de aprendizagem. Desta forma, espera-se que os OA estimulem o desenvolvimento das capacidades pessoais, como, por exemplo, imaginação e criatividade. Assim, um objeto virtual de aprendizagem pode tanto contemplar um único conceito quanto englobar todo o corpo de uma teoria. Pode ainda “compor um percurso didático, envolvendo um conjunto de atividades, focalizando apenas determinado aspecto do conteúdo envolvido” (SPINELLI, 2007, p. 7).

Para tornar o conceito de OA mais acessível, criaram-se metáforas capazes de traduzir, em parte, as suas relações de significado. Naquela do brinquedo LEGO, introduzida por Hodgins; Conner (2000), os OA seriam pequenos blocos de instrução que poderiam se juntar para formar estruturas instrucionais maiores e reutilizados em outras estruturas, assim construindo todo o contexto de aprendizagem. Entretanto, utilizar uma combinação aleatória de OA pode não conduzir necessariamente a algo relevante e coerente em termos de ensino e aprendizagem, porque nem todos os OA podem ser de fato assim arrançados. Isso levou à metáfora do átomo proposta por Wiley (2000), em que os OA são comparados a átomos nesta sequência: (a) nem todo átomo pode ser combinado com outro átomo; (b) átomos só

podem ser montados em certas estruturas prescritas pela sua própria estrutura interna; e (c) alguma instrução é necessária para juntar átomos. Tal acontece com os OA, isto é, agrupá-los requer conhecimentos de diferentes modelos pedagógicos de modo que a produção de um curso, por exemplo, seja eficaz e apropriada sob o ponto de vista da aprendizagem.

Arantes; Miranda; Studart (2010) propõem que OA são objetos digitais disponíveis na *web*, projetados especificamente com objetivos educacionais que podem ser utilizados, reutilizados, referenciados e controlados para criar ou apoiar situações de aprendizagem para uma audiência identificada. Compartilhamos com Haughey e Muirhead (2005) que os OA devam ser projetados para auxiliar os professores em seus planos de ensino, possibilitando a eles introduzir novos tópicos e desenvolver novas habilidades, proporcionar reforços a habilidades existentes, estender a aprendizagem por meio de novos meios para apresentação de material curricular, ilustrar os conceitos que são menos facilmente explicados através de métodos tradicionais de ensino, apoiar novos tipos de oportunidades de aprendizagem que não estão disponíveis em um ambiente de sala de aula.

Para o nosso trabalho, compartilhamos com Wieman et al (2008) das características essenciais das OA:

- conexão com o mundo real e incentivo à experimentação e observação de fenômenos;
- oferecer alto grau de interatividade para o aluno;
- possibilitar múltiplas alternativas para soluções de problemas;
- ter combinação adequada e balanceada de textos, vídeos e imagens;
- apresentar retroalimentação e dicas que ajudem o aluno no processo de aprendizagem;
- estar identificados por área de conhecimento e nível de escolaridade;
- apresentar facilidades de uso, possibilitando acesso intuitivo por parte de professores e alunos não familiarizados com o manuseio do computador;

- apresentar fácil funcionamento e execução na *web* para que, de fato, pudessem ser incorporados ao cotidiano do professor nos tempos atuais.

Apesar de potencialmente eficientes, a tarefa de produção dos OA constitui um desafio para os profissionais envolvidos em tecnologia educacional. Segundo Nascimento (2007, p. 138)

“um equívoco comum é acreditar que alunos ou professores, por serem bastante competentes em determinada área disciplinar, também possuem habilidades para produzir ótimos objetos de aprendizagem [...] é importante a formação de uma equipe multidisciplinar, na qual alunos e professores especialistas em áreas de conhecimentos trabalhem colaborativamente com pedagogos, professores de informática, programadores e web designers.”

Infelizmente, poucas equipes no Brasil têm se dedicado à criação de OA. Por outro lado, enquanto não se atinge um bom nível de produção brasileira, o professor pode dispor de excelentes repositórios nos quais os OA estão organizados e disponíveis na *web*. Esses repositórios facilitam a busca, pois, além de reunirem muitos OA em um mesmo endereço eletrônico, eles os catalogam, a fim de aperfeiçoar o processo de busca. As informações sobre os OA são organizadas em metadados que são utilizados para armazenar informações sobre eles, disponíveis nos repositórios. As informações mais comuns sobre os OA são título, autores, colaboradores, tema, palavras-chave, versão, localização, licença e propriedade intelectual, entre outras. Muitos são os repositórios, mas pode-se destacar o MERLOT¹ – *Multimedia Educational Resource for Learning and Online Teaching* e o comPADRE² – (*Physics and Astronomy Education Communities*). No Brasil, o BIOE³ – Banco Internacional de Objetos Educacionais – foi criado em 2008 pelo MEC e MCT e ainda se encontra em processo de construção, mas já com uma quantidade significativa de OA. Nele, estão disponíveis recursos digitais em diferentes formatos – áudio, vídeo, animação e simulação – relevantes e adequados à realidade da comunidade educacional. Outros projetos que servem aos professores como referência para busca de OA e merecem

¹<http://www.merlot.org>

²<http://www.compadre.org>

³<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br>

destaque são ACESSA FÍSICA⁴, que reúne vídeos, áudios, experimentos e *softwares* exclusivamente desenvolvidos, em parceria com o Ministério da Educação, e o PÍON⁵, portal da Sociedade Brasileira de Física, que disponibiliza, para o público em geral, material didático, vídeos, fotografias, ilustrações, simulações educativas, entre outros recursos relacionados à física e ao ensino dessa ciência.

Além desses repositórios, destacamos o PhET⁶ – *Physics Interactive Simulations* – que possui inúmeras simulações computacionais de diferentes áreas e vem sendo muito utilizado por professores e alunos em todo o mundo. Neste trabalho de mestrado, escolhemos usar as simulações deste repositório na construção das atividades que compõem a sequência didática.

1.5 PhET – *Physics Interactive Simulations*

O PhET (*Physics Interactive Simulations*) é um programa da Universidade do Colorado, liderado pelo prêmio Nobel Carl Wieman, que pesquisa e desenvolve simulações na área de ensino de ciências e as disponibiliza em seu portal para serem usadas *on-line* (ou serem baixadas gratuitamente) pelos usuários que podem ser alunos, professores ou mesmo curiosos. Nas simulações, o grupo procura conectar fenômenos diários com a ciência que está por trás deles, oferecendo aos alunos modelos fisicamente corretos, de maneira acessível. Essa acessibilidade se refere tanto à plataforma na qual elas são elaboradas, quanto às ferramentas interativas que procuram ser intuitivas e divertidas, levando aos usuários a conexão entre os fenômenos da vida real e a ciência básica. Entre os seus diferenciais, destacamos a possibilidade de compreender conceitos visuais por meio de animações que permitem observar aquilo que é invisível aos olhos, compreendendo fenômenos pela leitura de variáveis obtidas usando medidores (régua, cronômetros, voltímetros, termômetros) e gráficos, que fornecem respostas em tempo real, alteradas por controles simples e intuitivos.

As simulações são apresentadas em várias seções: Simulações em destaque; Novas simulações; Pesquisa de ponta; Simulações traduzidas em vários

⁴ http://177.71.183.29/acessa_fisica/index.php

⁵ <http://www.sbfisica.org.br/v1/novopion/>

⁶ http://phet.colorado.edu/pt_BR/

idiomas. Além dessas seções, as simulações também são agrupadas em seções específicas de cada área como Física, Química, Ciências da Terra e Matemática. Todas as simulações são classificadas de acordo com o nível de ensino. Em Física, por exemplo, as simulações são agrupadas em sete categorias: Movimento; Trabalho, Energia e Potência; Som e Ondas; Calor e Termodinâmica; Eletricidade, Magnetismo e Circuitos; Luz e Radiação; e Fenômenos Quânticos que facilitam a busca pela simulação mais adequada aos interesses dos usuários. Além disso, são disponibilizadas pelo PhET, na página “Ideias & Atividades do Professor”⁷, inúmeras sequências didáticas para apropriação e utilização por professores, baseadas principalmente em atividades de indagação que incentivam os alunos a construir seus próprios entendimentos, de forma eficaz e significativa. Também são estimuladas construções de novas atividades pelos professores usuários das simulações que podem, inclusive, serem submetidas à avaliação do grupo do PhET para depois serem compartilhadas com professores de todo planeta, por meio da plataforma. Para essas novas atividades, construídas por professores usuários das simulações, existe um roteiro de orientação, que foi utilizado por nós no produto dessa dissertação, pois partilhamos de muitos conceitos sobre como e quando uma atividade é mais eficaz para a aprendizagem significativa dos alunos. Numa seção específica da página⁸ do grupo, existem orientações escritas (no formato passo a passo), para que professores construam suas atividades que utilizam os OA. Essas orientações são muito objetivas e nos auxiliaram na elaboração das atividades dessa sequência didática.

Outro aspecto que merece destaque trata da facilidade de acesso e a possibilidade de rodar a simulação em qualquer equipamento, sem a necessidade de recursos altamente específicos, pois são produzidas em *Java* e *Flash* e podem ser executadas em qualquer navegador *web*, desde que os *plug-ins* dessas linguagens estejam instalados. Além disso, todas as simulações possuem acesso gratuito sob a licença *Creative Commons Attribution 3.0 United States*. Isso significa que todas as simulações podem ser livremente usadas e/ou redistribuídas por terceiros, desde que os créditos sejam devidamente atribuídos a “Simulações Interativas PhET

⁷https://phet.colorado.edu/pt_BR/for-teachers

⁸http://phet.colorado.edu/pt_BR/for-teachers/activity-guide

/ Universidade do Colorado⁹". Todas as simulações podem ser usadas diretamente na página principal, mas também é permitido o *download* para o uso em computadores desconectados da rede mundial de computadores.

Além disso, o principal aspecto que destaca as simulações do PhET, em relação às demais, é a sua abordagem baseada em pesquisa, na qual as simulações são planejadas, desenvolvidas e avaliadas antes de serem publicadas no *site*. As entrevistas realizadas com diversos estudantes são fundamentais para o entendimento de como eles interagem com simulações e o que as torna efetivas pedagogicamente. A qualidade das simulações pode ser aferida pelo processo de elaboração que envolve uma equipe considerável de participantes. O ciclo de desenvolvimento começa com a seleção de conteúdo, realizada por especialistas trabalhando colaborativamente com especialistas de interface para criar um *layout* inicial detalhado. Depois de criar uma versão inicial da simulação, são realizadas entrevistas com usuários para determinar se os alunos conseguem entender como usar a simulação e alcançar os objetivos de aprendizagem. Estas entrevistas procuram sempre revelar deficiências de interface, problemas de programação entre outros ajustes. Após esta etapa, a simulação é usada em uma sala de aula, onde o aluno usuário é observado e avaliado informalmente. O diagrama a seguir reflete a organização e a complexidade desse processo de elaboração da simulação:

Processo de Desenvolvimento de OA – PhET

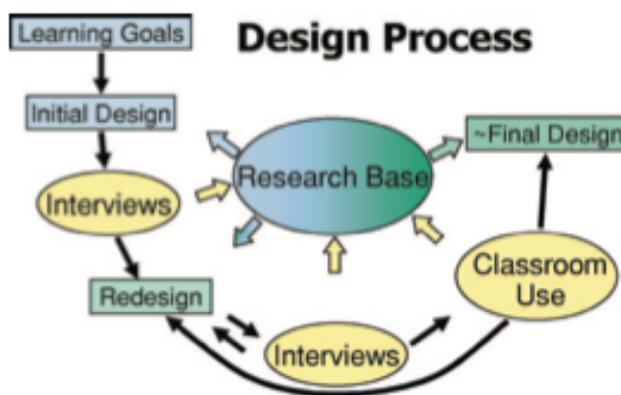


Figura 1 – Processo de elaboração e desenvolvimento das simulações produzidas pela Universidade do Colorado (PhET) – fonte: Wieman (2010).

⁹<http://phet.colorado.edu>

A principal função da simulação consiste em ser uma efetiva ferramenta de aprendizagem, fortalecendo bons currículos e os esforços de bons professores. O uso pedagógico da simulação pode ajudar a introduzir um novo tópico, construir conceitos ou competências, reforçar ideias ou fornecer reflexão e revisão final. O uso dessa ferramenta por professores pode ser bastante variado como o próprio grupo aponta: aulas expositivas, atividades em grupos na sala de aula, tarefas em casa ou no laboratório. Para o nosso trabalho, merecem destaque as atividades em grupos na sala de aula e atividades experimentais (que substituem o laboratório).

Para melhor aproveitamento, recomenda-se que os alunos utilizem as simulações em duplas, diretamente na sala de aula. Embora isso seja possível em algumas escolas, sabemos que isso não é regra, pois a maioria das escolas não dispõe de sala de informática e quando dispõe não possui pessoas capacitadas ou autorizadas a operá-las. Entretanto, muitos alunos dispõem de computadores em casa e o acesso a *lan – houses* não é tão difícil. A principal ideia, nesse caso, é submeter a dupla de alunos a um roteiro estruturado que lhe possibilite investigar os fenômenos explorando todo o potencial da simulação e todas as relações entre as variáveis do fenômeno. De acordo com o grupo do PhET, o objetivo desse roteiro é encorajar os alunos a explorarem o comportamento da simulação, questionar suas ideias e desenvolver os correspondentes modelos mentais.

A maioria das escolas brasileiras hoje não possui laboratórios adequados à realização de atividades experimentais por diversas razões: falta de equipamentos sofisticados; ausência de pessoal técnico de apoio (o professor tem que fazer tudo!) e falta de conhecimento específico do professor sobre experimentação. Ainda assim, a maioria dos professores destaca a importância da realização de atividades experimentais. Não é nosso objetivo aqui comparar diretamente as vantagens e desvantagens da simulação em relação à realização de atividades experimentais. É indiscutível a importância da realização de experimentos em função de todas as possibilidades de aprendizagem oferecidas aos alunos, incluindo a oportunidade de que o experimentos não deem certo, isto é, não apresentem os resultados esperados. Situações como essa contribuem, de fato, pois possibilita aos alunos compreenderem situações de contorno do problema, além da hierarquização

das variáveis envolvidas. Por essas (e outras razões) acreditamos na superioridade do experimento em relação à simulação.

No entanto, o uso das simulações, em situações de ausência completa de atividades investigativas, é recomendada, principalmente se o professor se encontra “preso” apenas à exposição teórica de conteúdos. Nas simulações é possível alterar muitas condições de contorno com facilidade, pois os controles são simples e intuitivos, mesmo que os alunos apenas façam alterações para “ver o que acontece”. Nelas é possível repetir diversas vezes o experimento, explorando diversas combinações de parâmetros de forma que todas as hipóteses possam ser testadas e analisadas. Além disso, “ver o invisível” presente num experimento real (átomos, elétrons, fótons, campos) a partir das representações presentes nas simulações, facilita a interação entre professores e alunos, pois traz, para o campo do diálogo, visualizações compartilhadas. Além disso, ficou evidente que quando os alunos trabalham inicialmente com o computador se mostram mais capazes para integrar teoria e experimento.

Nessa dissertação, as simulações selecionadas para composição das atividades presentes na sequência didática foram:

1. Ondas de rádio

Tela inicial da simulação Ondas de Rádio

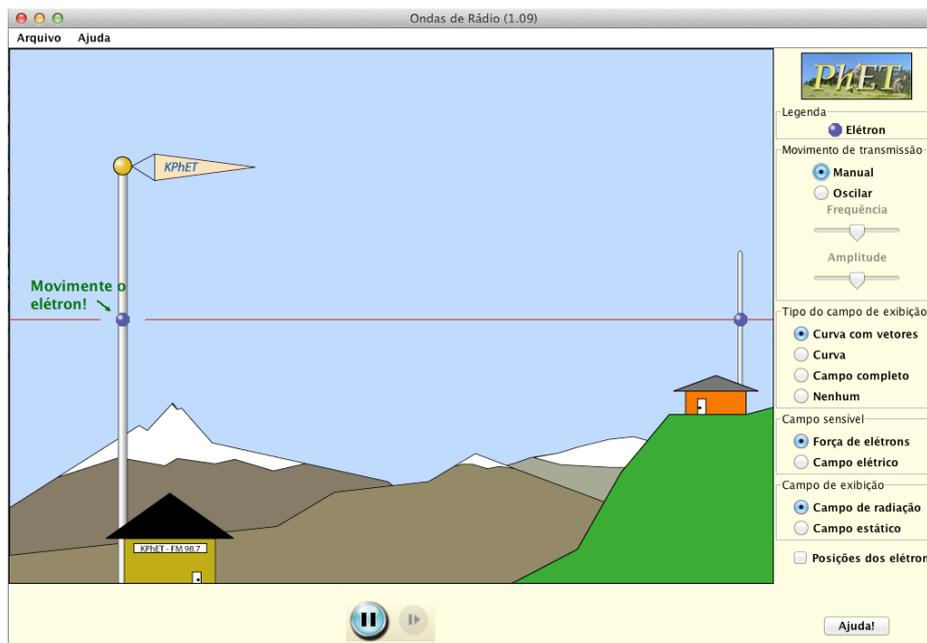


Figura 2 – Tela de abertura da simulação Ondas de Rádio¹⁰. Nessa simulação, é possível enviar e receber um sinal eletromagnético (gerado pela oscilação manual ou periódica do elétron), visualizando a onda e/ou os vetores representante do campo eletromagnético.

2. Som

Tela inicial da simulação Som

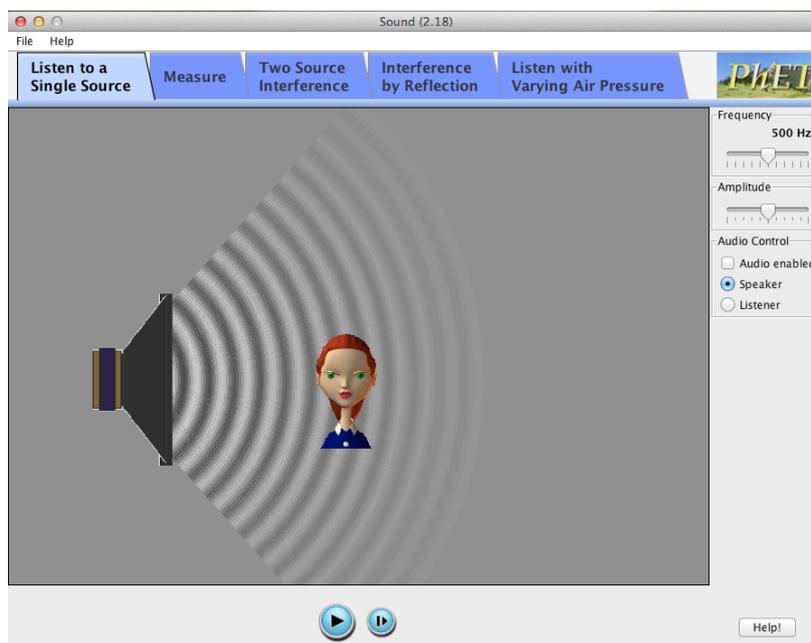


Figura 3 – Tela de abertura da simulação *Sound*¹¹. Nessa simulação, é possível enviar e receber um sinal sonoro (gerado pelo alto falante) visualizando a onda por meio da compressão e

¹⁰http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/radio-waves

¹¹http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/sound

rarefação do meio; as abas possibilitam as interações descritas e os controles determinam as características da onda gerada, além da escolha do referencial utilizado para recepção do sinal.

3. Corda esticada

Tela inicial da simulação Corda esticada

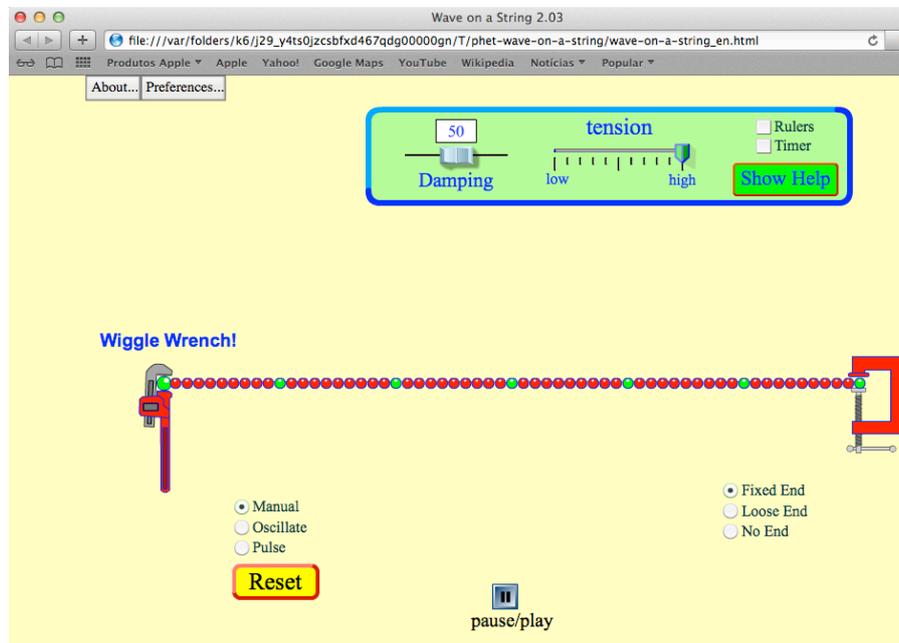


Figura 4 – Tela de abertura da simulação *Wave-on-a-string*¹². Nessa simulação, é possível gerar pulsos e ondas que se propagam numa corda elástica; são passíveis de controle também a extremidade da corda (fixa, solta ou sem fim – ausência de reflexão) e as características do meio (amortecimento e tensão).

4. Interferência de ondas

Tela inicial da simulação Cuba de ondas

¹²http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/wave-on-a-string.

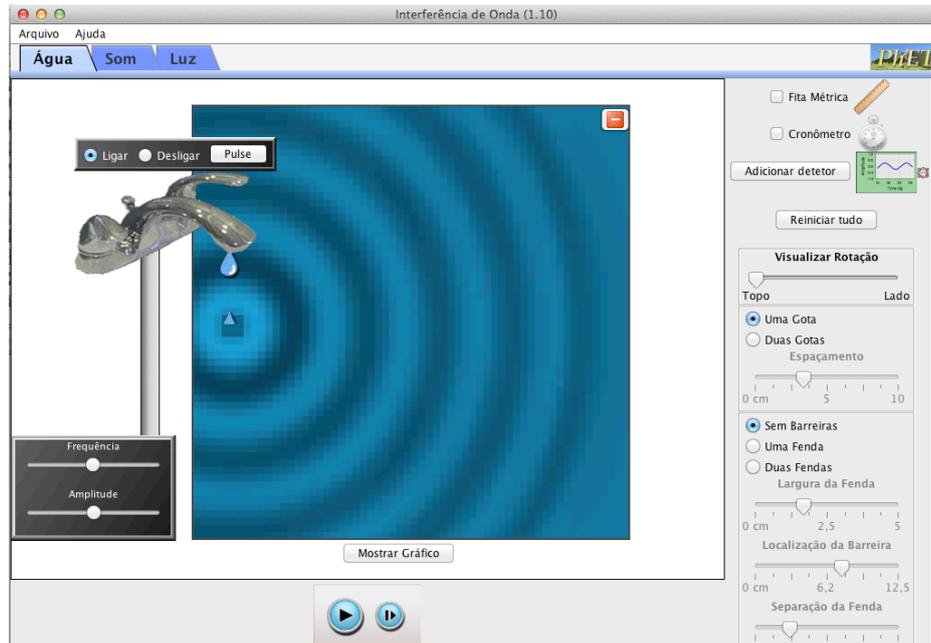


Figura 5 – Tela de abertura da simulação Interferência de ondas¹³. Nessa simulação, é possível gerar pulsos e ondas mecânicas e eletromagnéticas que se propagam na água, no ar ou no vácuo; são passíveis de controle também a frequência e amplitude das ondas e as características de obstáculos (barreiras e fendas) colocados no meio no qual a onda se propaga.

¹³http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/wave-interference

2. PRESSUPOSTO TEÓRICO: Aprendizagem Significativa

Neste trabalho de mestrado, em que propomos a elaboração e implementação de uma sequência didática para o ensino de Ondulatória destinada a alunos de nível médio, usamos o conceito de Aprendizagem Significativa (AS), de Ausubel (1969), no que se refere à construção das atividades propostas aos alunos. Essa fundamentação justifica escolhas realizadas como, por exemplo, o uso de um esquema de mapas de conceitos – adaptados dos mapas conceituais de Novak (1983) – e do método colaborativo presencial de Moreira (2010).

Os mapas de conceitos são recursos esquemáticos simples para organizar ideias e representar um conjunto de significados conceituais sobre determinado tema. Foram escolhidos como estratégia ao invés dos mapas conceituais porque não houve tempo suficiente para que o grupo de alunos se familiarizasse com sua construção adequada, antes da aplicação da sequência didática, embora fizesse parte da nossa intenção inicial usar os mapas conceituais como instrumento de aprendizagem e avaliação. Os mapas de conceitos herdaram dos mapas conceituais a finalidade proposta nesse trabalho: são compreendidos tanto como estratégia de aprendizagem tanto como de avaliação. Moreira (2010, p. 22) destaca:

“Mapas conceituais podem ser utilizados como recursos em todas essas etapas [de aprendizagem], assim como na obtenção de evidências de aprendizagem significativa, ou seja, na avaliação da aprendizagem”

Assim, para o nosso trabalho, foi possível solicitar aos alunos que organizassem suas ideias, em dois momentos distintos do processo, sendo um logo no primeiro contato e outro depois que a maioria das atividades tivesse sido realizada, por meio de mapa de conceitos, sem a estrutura de proposições que ligam os diferentes conceitos, própria dos mapas conceituais. A construção de vários mapas (ou pelo menos dois deles) permite acompanhar o processo de aprendizagem e, portanto, avaliá-lo, pois o processo, no estabelecimento das relações, é dinâmico, de forma que

um mapa construído hoje, certamente, será diferente de outro construído anteriormente. Moreira (2010, p. 24), escreve:

“Se a aprendizagem é significativa, a estrutura cognitiva está constantemente se reorganizando por diferenciação progressiva e reconciliação integrativa e, em consequência, mapas traçados hoje serão diferentes amanhã”

Além disso, ainda decorrente da fundamentação teórica, privilegamos, entre as estratégias utilizadas, a interação dos alunos com seus pares e com suas concepções espontâneas, sempre em três momentos devidamente caracterizados no tempo da atividade: preliminar, interação (aluno com OA e com seus pares) e desfecho, orientando conceitual e metodologicamente nossa proposta.

Somente aquilo que é afetivo tem caráter significativo, pois está relacionado ao armazenamento de informações decorrentes da atuação de sistema internos. Novak (1983, p.41) nos ajuda nessa compreensão sobre aprendizagem e complementa a proposição feita acima:

“aprendizagem é um processo de comparação, isto é de identificação de semelhanças (esquema prévio ou esquema de assimilação) e diferenças (acomodação, esforço) entre o objeto conhecido e o desconhecido (do particular para o geral e vice-versa)”

Com a finalidade de conceituar Aprendizagem Significativa, no que se refere à construção de implementação da sequência didática, destacamos Novak (1983, p. 56):

“Aprendizagem significativa é um processo no qual uma nova informação é relacionada a um aspecto relevante, já existente, da estrutura de conhecimento de um indivíduo.”

Isso significa dizer que os conceitos se constroem na medida em que se estabelecem as relações entre aluno e conhecimento, alunos e seus pares e alunos e professor. Dessa forma, mesmo que cada atividade proposta possuísse, inicialmente, uma estrutura planejada, elas foram sendo modificadas e adaptadas à medida que a sequência didática foi sendo implementada.

Por outro lado, essa abordagem na qual o aluno interage com o fenômeno por meio da utilização da simulação e com seus pares nas discussões em pequenos grupos, revela a importância do aluno ser colocado, durante a realização das atividades, como protagonista do processo. Esse papel de destaque leva-o à necessidade constante de realizar estruturações da sua rede de conceitos, modificando-a e adaptando-a à medida em que novos conceitos vão sendo formados e acomodados.

Nesse sentido, também se revela importante pensarmos na abordagem biológica em relação ao papel desempenhado pelo meio na Aprendizagem Significativa. Novak (1983, p. 57) destaca:

“A base biológica da aprendizagem significativa envolve mudanças no número ou tipo dos neurônios participantes, ou no conjunto celular envolvido; o fenômeno psicológico envolve a assimilação de novas informações dentro de uma estrutura de conhecimento específica existente na estrutura cognitiva do indivíduo. Ausubel define estas entidades psicológicas como conceitos subsunçores.”

Os subsunçores, a que se refere Ausubel, não são estruturas físicas que poderiam ser explicadas pela neurociência. Na realidade, uma definição neurobiológica não é crucial para que entendamos a aprendizagem significativa. Basta que pensemos nelas como estruturas que auxiliam o indivíduo na apropriação de um determinado conhecimento. Novak (1983, p. 58) mostra a relação dos subsunçores com a aprendizagem:

“Dependendo da experiência prévia do indivíduo, os subsunçores podem ser relativamente grandes e bem desenvolvidos, ou podem ser limitados na variedade e quantidade de elementos (conjuntos celulares) que contêm.”

Na nossa hipótese, as simulações computacionais, usadas por nós na construção das atividades que compuseram a sequência didática, contribuem no desenvolvimento, modificação e formação de subsunçores.

Quando um subsunçor é modificado, temos uma evidência da Aprendizagem Significativa. Isso quer dizer que o conteúdo externo encontrou vínculo com a estrutura interna, num esforço do indivíduo por compreender aquele objeto de conhecimento. Essa análise permite um paralelo da teoria de Ausubel com o Construtivismo piagetiano, pois podemos pensar que esse processo de aquisição de

conhecimento descrito acima com a modificação do subsunçor assemelha-se com o processo de Equilibração.

A Equilibração é a relação entre as necessidades do sujeito aberto com o meio externo. É um processo dinâmico de modificações internas do indivíduo em paralelo com recortes do objeto de conhecimento externo que está sendo apropriado no ato de aprender. Esse processo é composto por dois outros não dicotômicos, mas inter-relacionados: Assimilação e Acomodação. Enquanto a Assimilação consiste na transformação do meio para se adequar ao sujeito, a Acomodação é a transformação de si mesmo para adequar-se ao objeto.

Por outro lado, quando não há ligação entre o objeto de conhecimento e a experiência prévia do indivíduo (ausência de subsunçores devidamente adequados e desenvolvidos), ocorre a Aprendizagem Mecânica. Novak (1983, pg. 58) ilustra esse conceito:

“Quando conceitos relevantes não existem, na estrutura cognitiva de um indivíduo, novas informações têm que ser aprendidas mecanicamente. Ou seja, cada unidade de conhecimento tem que ser arbitrariamente armazenada na estrutura cognitiva.”.

É relevante perceber que as Aprendizagens Significativa e Mecânica não são dicotômicas, mas na verdade se complementam e mostram-se necessárias ao processo de ensino-aprendizagem. Numa outra passagem, Novak (1983, p. 62) evidencia:

“a aprendizagem mecânica ocorre quando não é feito um esforço consciente para relacionar o novo conhecimento à estrutura de conceitos ou elementos de conhecimento já existentes na estrutura cognitiva. Portanto, até que ponto a aprendizagem é mecânica ou significativa é, em parte, função da predisposição do aprendiz em relação à tarefa de aprendizagem; é também, como já foi dito antes, função do grau de desenvolvimento de conceitos relevantes na estrutura cognitiva e da gama de possíveis ligações que pode ser feitas entre novas informações e a estrutura cognitiva já existente.”

A Aprendizagem Mecânica é sempre necessária quando o novo conceito não tem nenhuma (ou muito pouca) relação com os conhecimentos já estruturados pelo indivíduo. Por isso, no conjunto de atividades que compõem a sequência didática, escolhemos momentos de roteiro passo a passo, isto é, situações

em que os alunos são submetidos ao cumprimento de etapas numa estrutura razoavelmente rígida e mecânica. Porém, a partir desse momento, uma nova situação de aprendizagem semelhante no conteúdo a anterior passa a ser significativa, levando-o a novas situações de desequilíbrio e, portanto, a novas aprendizagens significativas.

A Aprendizagem Significativa, em sua essência, possui duas características fundamentais que orientam nossa construção das atividades que compuseram a sequência didática:

- não arbitrariedade da tarefa de aprendizagem à estrutura cognitiva;
- substantividade do relacionamento da tarefa de aprendizagem à estrutura cognitiva.

De forma bem simplificada, o aprendiz usa o conhecimento que já tem para compreensão de outros novos conhecimentos. Isso possibilita a internalização, sem grandes esforços e poucas repetições, de uma vasta quantidade de novos significados de palavras ou conceitos. O não arbitrário significa que o novo pode ser visto como totalidade para dar origem a novas totalidades. Ausubel (1969 *apud* Novak, 1983, p. 55) esmiúça essa questão:

“Devido a esse fator de não arbitrariedade, o significado potencial de novas ideias, como totalidades, pode ser relacionado a significados já estabelecidos (conceitos, fatos, princípios), também como totalidades, para dar origem a novos significados. Em outras palavras, a única maneira possível de fazer uso de ideias previamente aprendidas no processamento (internalização) de novas ideias é relacionar estas de maneira não arbitrária às primeiras. As novas ideias, que assim se tornam significativas, expandem, por sua vez, a base da matriz de aprendizagem” (grifos de Ausubel)”

A não arbitrariedade é tão relevante que ela traz de volta a percepção do contínuo Mecânica – Significativa, pois, mesmo o que é incorporado pelo indivíduo de forma mecânica, transforma-se em potencial para Aprendizagem Significativa. Novak (1983, p. 55) ilustra esse dinamismo:

“A estrutura cognitiva se desenvolve através da incorporação não arbitrária de material de aprendizagem significativo, mas por sua vez, material de aprendizagem significativo é aquele que, potencialmente pode ser incorporado à estrutura cognitiva de maneira não arbitrária”

Por essas razões, percebemos o valor da Aprendizagem Mecânica. No entanto a Aprendizagem Significativa possui vantagens:

- conhecimento adquirido é retido por mais tempo;
- a informação assimilada resulta numa maior diferenciação dos subsunçores (facilita a aprendizagem de novas informações relacionadas);
- subsunção obliteradora (modificação do subsunçor após esquecimento): efeito residual no subsunçor que facilita novas aprendizagens.

Segundo Novak (1983, p. 21), a taxa de esquecimento depende primordialmente do grau de significância associado ao processo de aprendizagem. Moreira (2010) escreve sobre o esquecimento e as suas relações com a aprendizagem:

“o esquecimento é, então, uma continuidade natural da aprendizagem significativa. É um erro pensar que a aprendizagem significativa é “aquela que a gente nunca esquece”. Por outro lado, é um esquecimento com um resíduo, (...) e poderão ser reaprendidos com relativa facilidade.”

Em suma, mesmo sendo, geralmente, mais perene que a Aprendizagem Mecânica, a Aprendizagem Significativa permite o esquecimento. Entretanto, essa perda da informação não retorna o subsunçor à condição inicial e isso faz com que a aprendizagem de novos conceitos seja facilitada.

Além da sua relevância conceitual, a Aprendizagem Significativa contribuiu, de forma prática, para a elaboração das atividades presentes na sequência didática, no que Moreira (2010) define como método colaborativo presencial. Essa estratégia foi por nós utilizada como pressuposto no que se refere à metodologia de aplicação das atividades. Ela é composta de dois mecanismos que se alternam no processo de aprendizagem: a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa.

- diferenciação progressiva: é o processo de criar um novo conceito a partir do que já existe na rede de conceitos do indivíduo:

“os conceitos que interagem com o novo conhecimento e servem de base para a atribuição de novos significados vão também se modificando em função dessa interação, i. e., vão adquirindo novos significados e se diferenciando progressivamente”

- reconciliação integrativa: consiste em relacionar o novo conceito, de forma hierárquica, à rede de conceitos já existente, ampliando o potencial de significados:

“é o estabelecimento de relações entre ideias, conceitos, proposições já estáveis na estrutura cognitiva, ou seja, relações entre subsunções. Elementos existentes na natureza cognitiva com determinado grau de clareza, estabilidade, e diferenciação são percebidos como relacionados, adquirem novos significados e levam a uma reorganização da estrutura cognitiva”

Esses procedimentos acima, organizados por Moreira (2010, pag. 18-19) como Método Colaborativo Presencial, alternam-se no processo de aprendizagem e permeiam, além das atividades, o papel desempenhado pelo professor na condução do processo. É importante destacar que o método ocorre no interior do indivíduo, mas decorre da interação entre alunos e seus pares, entre alunos e o conhecimento e entre alunos e professor. Sempre colocando o aluno, no processo de mãos na massa, a saber, como protagonista do processo. Isso confere ao trabalho em sala de aula a possibilidade de dinâmica, que é inerente ao processo, ora abordando o todo conceitual, ora relacionando-o com suas partes.

A garantia desse movimento de ir e vir, como descrito acima, aconteceu em função da estrutura escolhida para as atividades, sempre com três momentos muito bem delimitados: preliminar, interação com o OA e desfecho. Durante a etapa preliminar, ainda sem o uso da simulação computacional, os alunos eram submetidos a perguntas abrangentes acerca da temática. O objetivo dessa etapa foi permitir que professor e aluno tomassem consciência das concepções espontâneas, evidenciado o que o aluno já sabe e trazendo-as para discussão em sala de aula. Ausubel (1963 *apud* Moreira, 2006, p.13) escreve sobre a relevância de conhecer o que o aluno já sabe:

“Se tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um só conceito diria o seguinte: o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe. Averigue isso e ensine-o de acordo”.

Os alunos, organizados em pequenos grupos com 3 ou 4 integrantes, realizavam a discussão das perguntas formuladas para a etapa preliminar, procurando respondê-las de forma consensual, ainda que o fizessem individualmente. Eles eram constantemente orientados de que a ideia que levava à resposta era única e deveria vir

das informações discutidas no grupo, mas o texto, relatado na folha de respostas, deveria ser individual. Acreditamos que a escrita realizada individualmente é um processo fundamental para que o aluno participe efetivamente das discussões. As perguntas formuladas sempre foram elaboradas numa linha que permitia ao aluno escrever o que ele já conhecia a respeito do objeto de estudo, isto é, elas sempre continham as expressões “O que você acha...? O que você sabe...? O que você pensa a respeito...?”. Consideramos isso importante, pois enfatiza a não obrigação do aluno em “acertar” a resposta, escrevendo o que o professor esperaria que ele escrevesse, reforçando o rompimento com os acordos implícitos que são normalmente estabelecidos na sala de aula: o professor, que sabe mais sobre um determinado assunto, pergunta ao aluno que deve elaborar uma resposta dentre aquelas esperadas pelo professor, mesmo sendo geralmente quem sabe menos.

Esse método exige papéis desempenhados por professor e alunos distintos daqueles que normalmente observamos na maioria das salas de aula. Com relação ao aluno, espera-se uma postura mais ativa no processo que passa a depender muito da sua efetiva participação e envolvimento. Em relação ao papel do professor, nesse processo, é esperado que atue como mediador e como motivador, evitando, ao máximo, oferecer respostas prontas e conclusões que ainda não foram discutidas ou elaboradas pelos alunos. Ao invés, então, de responder prontamente à pergunta feita pelo aluno, sugere-se que ele a devolva para outro integrante do grupo, promovendo a discussão entre os pares, isto é, recomendando ao professor que procure usar expressões do tipo “O que você pensa da pergunta dele? O que você acha da resposta que ele deu?”

Na segunda etapa do método, durante a interação dos alunos com o OA, eles faziam uso da simulação computacional, a partir de um roteiro, ora mais fechado, direcionando às ações, ora mais aberto, procurando trazer elementos de criatividade ao processo. Nela espera-se que ocorram reflexões e análises que resgatem as perguntas iniciais feitas durante a primeira etapa (preliminar), levando os alunos a uma reorganização das suas ideias acerca da situação apresentada na simulação. É nesse momento que ocorre a diferenciação progressiva, dando origem a um novo conhecimento, provocando modificações nos subsunçores.

Na terceira e última etapa do processo (desfecho), os alunos foram solicitados a responder novas questões, refletindo sobre uma nova situação, relacionada com a primeira e segunda etapas, mas sutilmente diferente, a fim de possibilitar aos alunos uma alocação do novo conhecimento obtido na etapa anterior, promovendo assim uma reorganização da sua rede de conceitos. Como ressaltado acima, no método colaborativo presencial, esse processo é denominado reconciliação integrativa.

3. PRODUTO

3.1 Sequência didática

3.1.1 Conceito

O produto, decorrente desse mestrado profissional, consistiu na elaboração de uma sequência didática. Esse termo é usado para definir um procedimento organizado de etapas executadas pelos alunos, ligadas entre si, com a finalidade de que eles aprendam um determinado objeto de estudo. Na nossa opinião, uma sequência didática deve possibilitar ao professor, que entra em contato com ela, repetir os seus passos sequencialmente, sem que haja a necessidade de inserções, pois ela foi planejada com começo, meio e fim, incluindo a avaliação de aprendizagem necessária. Esses passos a serem seguidos, embora não sejam únicos, pois outros professores podem incluir, substituir ou retirar alguns deles, consistem em: apresentação do projeto; produção inicial; módulos de atividades; avaliação final. Nesse aspecto, a sequência didática é moldável, pois está vinculada à prática do professor, que se identifica nela, se apropria dela e a reproduz, em consonância com os seus objetivos e conhecimentos pedagógicos.

3.1.2 Estrutura

Essa sequência didática foi prevista para ser implementada em 16 aulas, de 45 minutos cada. Como a distribuição de aulas no colégio, na qual ela foi implementada, previa sempre aulas duplas semanais, com duração de 90 minutos, essa sequência foi estruturada em 8 encontros: 5 atividades para trabalhos em pequenos grupos utilizando as simulações, 2 aulas expositivas para discussão e formalização de conceitos e um último encontro para a realização da avaliação oficial. Organizamos cada atividade para que fosse iniciada e finalizada no mesmo encontro, dentro dos 90 minutos regulamentares. Cada atividade foi, então, estruturada da seguinte forma:

- abertura (10 min)

Esse tempo previsto para a apresentação da aula por meio de breves instruções e para a acomodação dos alunos em duplas e trios ao redor dos computadores. É preciso ressaltar, como foi descrito no capítulo 1, que o colégio não dispunha de sala de computadores. Usamos computadores portáteis trazidos pelos alunos para a própria sala de aula.

- Preliminar (20 min)

Nessa etapa, os alunos tomam contato com questões cuidadosamente formuladas para despertar seus conhecimentos prévios com relação aos conteúdos específicos da atividade. Elas foram criadas com base na experiência acumulada pelo professor sobre as principais dificuldades conceituais verbalizadas pelos alunos e em questões atuais de vestibulares.

- Interação com OA (40 min)

Esse momento é dedicado ao trabalho dos alunos com a simulação, em duplas ou em trios, para a discussão dos conceitos relevantes à medida que o grupo avance nas questões propostas.

- Desfecho (20 min)

Finalmente, os alunos, de forma individual, respondem a novas questões que servem para a tomada de consciência em relação aos conteúdos discutidos na etapa anterior.

3.1.3 Atividades

Com intuito de facilitar a visualização de todas as etapas planejadas para a sequência didática, organizamos a tabela a seguir que evidencia as aulas, as atividades e os recursos utilizados:

Sequência Didática

aulas	atividade	Recursos
1 e 2	Atividade 1 – Concepções Iniciais	MAPA de CONCEITOS

3 e 4	Atividade 2 – Ondas de Rádio	SIMULAÇÃO
5 e 6	Ampliando o Repertório	MÉTODO COLABORATIVO PRESENCIAL
7 e 8	Atividade 3 – Ondas Sonoras	SIMULAÇÃO
9 e 10	Organizando as ideias	MÉTODO COLABORATIVO PRESENCIAL
11 e 12	Atividade 4 – Corda Esticada	SIMULAÇÃO
13 e 14	Atividade 5 – Interferência	MATERIAL EXPERIMENTAL + SIMULAÇÃO
15 e 16	Avaliação oficial	PROVA ESCRITA

Tabela 1 – Relaciona as atividades da sequência didática.

As atividades previstas no planejamento da sequência didática, em todos os seus detalhes, podem ser encontradas no apêndice.

3.2 Análise da Sequência Didática

A escolha do assunto Ondas teve sua motivação em função da programação de conteúdos, oriundos do sistema de ensino adotado pelo colégio, na qual a sequência didática, que é produto dessa dissertação, foi implementada. De acordo com a programação oficial de conteúdos, a Ondulatória deveria ser abordada num conjunto de 17 aulas de 45 minutos cada. Essas aulas correspondem à programação final do ano letivo previsto nas apostilas 7 (penúltima) e 8 (última) da segunda série, do nível médio, do Sistema Anglo de Ensino. A tabela 2 descreve a apostila e a aula (numeração e assunto) correspondentes oferecida pelo sistema de ensino adotado:

Conteúdos Programáticos

apostila	Aula	Assunto
7	32	Ondulatória. Ondas: definição, propriedades e classificação.

7	33	Definições de período, frequência, amplitude e comprimento de onda
7	34	Reflexão e refração de pulsos em cordas
7	35	Formação de onda senoidal: equação fundamental da Ondulatória
7	36	Formação de onda senoidal: equação fundamental da Ondulatória
8	37	Ondas em meios bidimensionais e fenômenos ondulatórios
8	38	Ondas em meios bidimensionais e fenômenos ondulatórios
8	39	Interferência de ondas, ressonância e onda estacionária
8	40	Interferência de ondas, ressonância e onda estacionária
8	41	Acústica: som e suas propriedades
8	42	Características do som (altura, timbre e intensidade)
8	43	Estudo das cordas vibrantes
8	44	Estudo dos tubos sonoros
8	45	Estudo dos tubos sonoros
8	46	Efeito Doppler (qualitativo)
8	47	Exercícios gerais sobre ondas
8	48	Exercícios gerais sobre ondas

Tabela 2 – Relaciona a programação do Sistema Anglo de Ensino adotado pelo colégio.

Dessa forma, programamos inicialmente, usar 16 das 17 aulas previstas em trabalhos com os alunos incluindo as atividades, aulas expositivas e avaliação. Essa aula que, em tese, estaria sobrando, poderia absorver eventuais suspensões de aulas devido a recessos imprevistos e feriados. A seguir, organizamos as aulas e as atividades desenvolvidas destacando seus objetos de trabalho e objetivos específicos.

Aulas 1 e 2: Atividade 1 – Concepções iniciais

Inicialmente, foi solicitado aos alunos que elaborassem um mapa de conceitos sobre o assunto Ondas que seria objeto de estudo nas próximas aulas, de acordo com a programação do sistema apostilado. Os objetivos desta ação foram:

- levantar os conhecimentos prévios dos alunos com relação aos fenômenos ondulatórios;
- servir de balizamento para medir os ganhos conceituais dos alunos ao longo do curso.

A construção do mapa de conceitos foi prevista para que fosse uma atividade de natureza individual. Foram previstos 90 minutos para a realização completa desta atividade, divididos em apresentação e justificativa do projeto (10 min) e o tempo restante para a construção do mapa de conceitos.

Aulas 3 e 4: Atividade 2 – Ondas de rádio

Para iniciar o trabalho com as simulações do PhET, foi escolhida a simulação “Ondas de Rádio e Campos Magnéticos”. Tal OA possibilita, entre outras ações, enviar e receber um sinal eletromagnético entre uma estação transmissora de rádio e uma residência. Em seu funcionamento é possível “ver” a onda eletromagnética por meio da representação da curva senoidal ou por meio dos vetores campos elétrico e magnético. O objetivo desta atividade é problematizar o envio e a recepção de um sinal eletromagnético e suas formas de representação.

Aulas 5 e 6: Ampliando o repertório

Nesse terceiro encontro, foi previsto um momento de discussão da atividade anterior no que se refere à compreensão do envio/recebimento de um sinal eletromagnético. Por meio do Método Colaborativo Presencial, proposto por Moreira (2005), foram realizadas a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora, contemplando as intervenções dos alunos, com a sistematização de algumas ideias, com a finalidade de tomada de consciência e a realização de registros escritos para fundamentar os conceitos aprendidos. O objetivo desse encontro é de formalizar os

conceitos que se referem ao envio/recebimento de um sinal eletromagnético entre outros, apontados pelos alunos e professor.

Aulas 7 e 8: Atividade 3 – Ondas sonoras

Essa aula correspondeu ao quarto encontro com as turmas. Nela, discutimos aspectos que envolviam o envio e a recepção de ondas sonoras dentro da metodologia proposta. Foi utilizada a simulação “Som” que permite, entre muitas outras possibilidades, caracterizar uma onda sonora a partir da sua amplitude e frequência, além de detectá-la, por meio dos alto-falantes do computador, como foi enviada pela fonte e como foi recebida por um observador cuja posição pode ser determinada pelo usuário. O objetivo dessa aula é problematizar o envio e a recepção de um sinal mecânico, suas formas de representação e características físicas (frequência, amplitude, velocidade, comprimento de onda).

Aulas 9 e 10: Organizando as ideias

Depois de um mês de aula, nessa quinta semana, o objetivo desse encontro é relacionar as características físicas de uma onda com as grandezas físicas como, por exemplo, frequência, amplitude, velocidade e comprimento de onda culminando com a representação simbólica da equação fundamental da Ondulatória ($v = \lambda f$) e com as formas de representação pictórica de ondas bidimensionais. Por meio do método colaborativo presencial, foi realizada a discussão da atividade anterior no que se refere à compreensão do envio/recebimento de um sinal mecânico e sua generalização para os fenômenos ondulatórios. Além disso, foi discutido como representar e relacionar as características físicas de uma onda (frequência, amplitude, velocidade, comprimento de onda) com a relação fundamental da Ondulatória.

Aulas 11 e 12: Atividade 4 – Corda Esticada (*wave on a string*)

Na sexta semana, por meio da simulação “Onda em uma corda”, abordamos a produção de pulsos e ondas numa corda esticada. Como era possível alterar as condições do meio material no qual a onda se propagava, isto é, características da corda como força de tração, amortecimento e amplitude, foi possível analisar a velocidade de propagação do pulso e da onda em função dessas variáveis. Além disso, escolhendo a extremidade da corda (fixa ou livre), fomos capazes de analisar situações de reflexão e interferência de pulsos e ondas.

aulas 13 e 14: – Cuba de Ondas

Nesta última atividade, planejamos que os alunos iniciem o estudo de ondas bidimensionais num recipiente retangular, feito de vidro colado com silicone, contendo água, semelhante a uma cuba de ondas, porém simplificada, pois um equipamento capaz de gerar ondas de frequências específicas não estava disponível. As ondas são geradas pelos próprios alunos utilizando conta gotas, lápis e régua. Após executar algumas tarefas simples, como gerar uma onda circular, uma onda plana e estudar suas reflexões e difrações, é solicitado aos alunos que utilizem a simulação “Interferências de Ondas” para realizar experiências virtuais similares àquelas que foram feitas com a cuba real. Além disso, por meio da simulação em questão, é possível comparar ondas na água, com ondas sonoras e eletromagnéticas de forma a evidenciar suas semelhanças e diferenças com relações aos fenômenos ondulatórios.

aulas 15 e 16: Avaliação oficial

Conforme previsto no regimento escolar, ao final de cada trimestre, acontece a aplicação de uma prova de avaliação para fins de atribuição de desempenho acadêmico que servirá de indicador para o prosseguimento dos estudos ou a realização dos estudos de recuperação. Essa etapa é realizada de forma individual, porém, de acordo com critérios estabelecidos pelo professor, não deve ser, necessariamente, a única avaliação. No caso desse projeto implementado, a prova trimestral correspondeu a 50% da nota final, sendo a outra metade decorrente do cumprimento das atividades aplicadas pela sequência didática.

4. IMPLEMENTAÇÃO

4.1 Cenário e Atores

O colégio, no qual o trabalho de mestrado foi realizado, é uma entidade de caráter privado, que trabalha com o Sistema Anglo de Ensino, nos níveis fundamental e médio, além de turmas pré-vestibulares. Existem duas unidades, localizadas em cidades vizinhas – Atibaia e Bragança Paulista – no interior do estado de São Paulo. Em cada unidade havia uma turma de segunda série do nível médio, no qual foi desenvolvido o projeto e aplicada a sequência didática. As turmas A e B (Atibaia e Bragança, respectivamente) possuíam 30 e 31 alunos, nessa ordem. O ano letivo é organizado em três trimestres, de forma que as 60 aulas que compõem as 4 apostilas do material devam ser cumpridas ao fim desse período. Existem, pelo menos, três avaliações obrigatórias, uma ao final de cada trimestre, além das avaliações que podem ser livremente escolhidas e contribuem no processo, de acordo com estratégias adotadas por cada professor, em cada disciplina.

Em função da proposta de ensino, decorrente do sistema adotado, o colégio não possui laboratório. Não há interesse num espaço apropriado e nem em materiais de forma sistemática para esse fim. Experiências (nas aulas de física, química e biologia) são realizadas de forma demonstrativa e dependem, quase que exclusivamente, das características, interesses e aptidões dos professores dessas disciplinas. Também não existe sala de informática. Há projetores e computadores que podem ser transportados e instalados nas salas para utilização de recursos digitais, na grande maioria das vezes, de forma expositiva pelos professores. Embora predomine a falta de espaços com finalidade diferente da sala de aula tradicional, a direção e coordenação da escola valorizam e apoiam projetos paralelos, pois confiam na qualidade individual de cada membro do corpo docente.

Ainda que o cenário fosse impróprio para o desenvolvimento e a aplicação de um projeto de mestrado como esse, em que o aluno deveria fazer uso de objetos virtuais de aprendizagem, mais especificamente por meio de simulações computacionais, em atividades que sua atuação fosse destacada como protagonista do

processo de ensino-aprendizagem, os desafios foram vencidos, principalmente, em função do envolvimento dos alunos. Por se tratar de uma escola na qual os alunos pertencem à classe média-alta, eles trouxeram para a sala de aula computadores pessoais portáteis, de forma que eles foram organizados em pequenos grupos para a utilização das simulações e realização das atividades. Outra vantagem foi a escolha das simulações, que eram baixadas *off-line* pelos alunos durante a semana que antecedia à aula e puderam ser facilmente utilizadas durante a aula, pois eram todas programadas em linguagens robustas, que rodavam facilmente em qualquer máquina. Nosso maior problema, no entanto, foi a falta de infraestrutura da sala: não havia tomadas em quantidade suficiente e a autonomia das baterias dos computadores pessoais eram, em sua maioria, menor que o tempo da aula. Mas esse problema foi resolvido pelos alunos, que providenciaram filtros de linhas e extensões, garantindo a todos o acesso à energia elétrica.

4.2 Registros

Os registros da implementação desse projeto foram realizados de diversas formas e foram sistematizados pelo próprio professor durante e após a aplicação de cada atividade. Foram feitas fotografias, diário de atividades, atividades escritas dos alunos (resposta ao questionário e mapas de conceitos), além da avaliação obrigatória, realizada ao final do trimestre. As fotografias tiradas procuraram registrar os alunos em situações de discussão e interação na sala de aula. O número de fotos foi relativamente pequeno, pois as fotos eram feitas pelo próprio professor da turma, que possuía outras ocupações durante a implementação da sequência didática. Além disso, o número reduzido de fotos também se justifica pela inibição dos alunos ao perceberem que estavam sendo fotografados. Mesmo que essa prática de registrar fotograficamente eventos seja muito comum entre eles, foram poucas as situações em que foi possível realizar uma foto jornalística, isto é, registrar situações em que os atores do processo estão tão envolvidos com o processo que não percebem que estão sendo fotografados.

O diário de atividades foi feito em folhas esparsas que eram transcritas para um arquivo digital ao final de cada aula. Nesse processo, foi possível agregar

impressões esporádicas anotadas durante a aplicação da sequência didática (na qual não se dispõe de muito tempo, pois a fluidez do processo depende do envolvimento e da atenção do professor em perceber quando introduzir uma nova atividade ou quando realizar uma intervenção para que o processo transcorra da melhor forma possível) com análises e registros mais cuidadosos, de caráter reflexivo, pois eram feitos pós-atividade. Durante essa seção, ainda é apresentado esse registro, a cada dia de aplicação da sequência didática.

Três outras formas de registros utilizados como dados coletados desse trabalho de mestrado foram: as respostas escritas dadas pelos alunos durante as atividades, que foram classificadas procurando destacar tendências de explicações ou conceitos comuns dos alunos, além de análises pessoais que foram creditadas aos avanços mensurados individualmente a cada aluno; as respostas escritas referentes às questões presentes na avaliação oficial que passaram por uma análise semelhante a que foi descrita acima, acerca das respostas escritas das atividades; os mapas de conceitos, que foram elaborados na atividade inicial e na atividade 4 (já mais próxima do fim do processo, revelando ganhos conceituais e o enriquecimento das relações entre os conceitos pertinentes ao ensino de Ondulatória, que foram apresentados pelos alunos).

Com relação ao diário de atividades, segue, na próxima seção, o relato dia a dia da aplicação de cada atividade e um breve comentário que foi realizado no momento, logo após a sua aplicação.

4.3 Diário de atividades

A implementação das atividades teve início no dia vinte de setembro de 2011, na turma B, e no dia seguinte, na turma A. Essas turmas, como já foi descrito anteriormente, correspondem a duas salas, em duas unidades distintas do colégio no qual leciono. As unidades nas cidades de Atibaia e Bragança Paulista foram denominadas turmas A e B, respectivamente.

Dessa programação planejada, em função das necessidades percebidas ao longo do processo decorrentes das interações com os alunos e da produtividade

deles, algumas alterações foram sendo incorporadas de forma que a sequência final, realmente implementada, mostrou-se diferente de como foi descrito inicialmente. Por isso, descrevemos a programação novamente contemplando as alterações:

Atividades da Sequência didática

aulas	atividade	Turma B	Turma A
1 e 2	Atividade 1 – Concepções iniciais	20/09	21/09
3 e 4	Atividade 2 – Ondas de rádio	27/09	28/09
5 e 6	Ampliando o repertório	04/10	05/10
	Recesso escolar	11/10	12/10
7 e 8	Atividade 3 – Ondas sonoras	18/10	19/10
9 e 10	Organizando as ideias	25/10	26/10
	Aula extra / Feriado	01/11	02/11
11 e 12	Atividade 4 – corda esticada (1a parte)	08/11	09/11
	Feriado / Aula extra	15/11	16/11
13 e 14	Atividade 4 – corda esticada (2a parte)	22/11	23/11
15 e 16	Avaliação oficial	29/11	30/11

Tabela 3 – Datas de realização das atividades da sequência didática.

Tendo em vista a programação inicial, não foi possível realizar a última atividade planejada. As aulas nas turmas A e B aconteciam em dias distintos da semana sendo uma na terça (turma B) e outra na quarta (turma A), de forma que os feriados, em apenas um desses dias na semana, atrapalharam o andamento das atividades. Isso pode ser compreendido na análise da tabela 3. Os feriados aconteceram nos dias 02/11 e 15/11 (quarta e terça, respectivamente). Nessa semana, com aula em apenas uma das salas, foi realizada uma atividade extra relacionada com interferência e ressonância, a pedido dos alunos, pois o material trazia uma aula sobre esses assuntos. Para essa aula, foi utilizado o método colaborativo presencial apoiado no uso de vídeos conhecidos pela maioria dos professores de física. O vídeo¹⁴ mostra uma taça de cristal que entra em ressonância com um sinal emitido por um alto falante.

¹⁴ http://www.youtube.com/watch?v=qy1c5_vYTVo acessado em 04 de dezembro de 2013

À medida em que as atividades foram executadas, realizei o registro das minhas impressões como professor e pesquisador da minha prática. As anotações e análises eram feitas, sempre que possível, logo após o término da aula e tinham como objetivo destacar elementos que contribuíssem com a elaboração final da próxima atividade que seria realizada, pois ela já estava pré-estruturada. Além disso, outro objetivo foi fornecer elementos de análise para as alterações, que são consequências de qualquer trabalho no qual uma proposta está sendo implementada conforme vai se estruturando.

Atividade 1 – Concepções iniciais

Iniciei a atividade na turma B pedindo compromisso dos alunos com a qualidade das respostas que seriam coletadas ao longo da sequência didática, mas sem vincular a seriedade do trabalho uma obtenção da nota a ser atribuída a cada um deles. Expliquei que os resultados seriam objeto de estudo e análise no meu projeto de pesquisa do mestrado, sem dar muitos detalhes e, mesmo assim, eles se mostraram dispostos a contribuir. Fiquei com a sensação de que o discurso dos alunos ainda está muito pautado no “se não vale nota, então não preciso fazer”, muito próprio e coerente com um sistema em que o aluno trabalha e produz em troca da moeda escolar que se chama nota, que vai impressa no seu boletim. Na turma A, no dia seguinte, percebi, ao iniciar o trabalho, que essa turma mostrou-se mais preocupada com o fato de não saber nada sobre onda e como esse resultado ruim poderia influenciar o resultado da nota, ao final do trimestre.

Uma aluna mencionou, em voz alta, que o celular causava câncer porque emite ondas eletromagnéticas. Ela ouviu falar disso, mas não sabia justificar ou desenvolver um pouco mais a análise. Outra aluna disse que viu isso no Fantástico – programa de TV, veiculado pela Rede Globo aos domingos. Uma outra aluna disse, virando-se para mim, na expectativa de que eu respondesse ou comentasse o assunto, realmente preocupada com a questão, “Isso é verdade?” Fugi da resposta, isto é, não respondi prontamente optando por devolver a pergunta: “O que você acha?” O comentário dela, a seguir, foi “Não sei, você que é o professor!” Respondi: “Então, estudaremos isso!”

Como já mencionado, foi solicitado aos alunos que construíssem um mapa de conceitos inicial sobre Ondas. Numa análise preliminar dos mapas construídos pelos alunos, pudemos verificar uma heterogeneidade muito grande de conhecimentos prévios acerca do assunto abordado na sequência didática.

Atividade 2 – Ondas de Rádio

Foi a primeira atividade usando o objeto virtual de aprendizagem escolhido para esse trabalho de mestrado: a simulação. Houve um preparo e um planejamento para que os alunos trouxessem seus computadores portáteis. Combinamos que seria criado um grupo na rede social *Facebook*, amplamente dominada pelos alunos nas suas situações extracurriculares, para que trocássemos informações, avisos e comentários. Pelo mural, eu disse que avisaria quando seria necessário trazer o computador e qual simulação seria usada em cada ocasião. Embora a informação tivesse sido divulgada em tempo hábil, alguns alunos não acessaram a rede social e não tinham a simulação instalada em seus equipamentos. Prevendo que isso poderia acontecer, levei um cartão de memória sólida contendo uma cópia, que foi rapidamente compartilhada por aqueles que precisavam do arquivo.

Durante o decorrer das atividades, os alunos foram aprendendo o método de trabalho proposto a ser usado (preliminar, interação com a simulação e desfecho) como proposta metodológica de trabalho. Fui distribuindo as folhas com as atividades à medida em que avançávamos, de forma mais ou menos coletiva. De fato, quando o aluno terminava a etapa preliminar, recebia a folha com as atividades previstas para a interação com a simulação, mas para isso era necessário que os outros integrantes do seu trio de trabalho também tivessem completado a etapa anterior.

Na primeira etapa, os alunos eram questionados sobre a presença das ondas eletromagnéticas em nossas vidas. Foram escolhidas duas situações que acreditávamos que eles já haviam vivenciado, partindo, dessa forma, daquilo que o aluno já sabe, como preconiza a aprendizagem significativa:

1. caixa de som que “adivinha” que o celular vai tocar
2. sintonizar uma estação de rádio

Foi pedido a eles que procurassem esclarecer como a caixa de som do computador (ou de outro equipamento qualquer) era capaz de descobrir (isto é, de captar o sinal enviado ao celular – mas isso não foi explicado dessa maneira) que o celular vai tocar e, na segunda questão, como uma informação, emitida pela estação de rádio, era sintonizada pelo rádio em casa. Tive a impressão que o mundo das ondas eletromagnéticas é muito óbvio para os alunos, isto é, eles estão mais inseridos no mundo *wireless* e não passa pela cabeça deles como isso poderia ser de outra forma. Essa impressão foi percebida pela presença constante da associação entre ondas e comunicação observadas nos mapas construídos.

O objetivo dessa aula é investigar que a informação enviada possui características físicas que são determinantes para sua compreensão. Em outras palavras, enviar uma informação é escolher um conjunto de frequências (código), associadas a uma energia e a uma velocidade de propagação.

Muitas foram as reações dos alunos enquanto exploravam a simulação. Espontaneamente, nas diversas formas de representação da onda eletromagnética, explorando toda a potencialidade do *software*. Penso que os objetivos de fornecer aos alunos repertório acerca do assunto, criar representações de fenômenos “invisíveis” e contribuir com o desenvolvimento de subsunçores foram alcançados, pois nas aulas mais expositivas, de organização e sistematização dos conceitos, tínhamos um passado compartilhado sobre o tema. Não acontecia, como em outras aulas que foram ministradas em turmas anteriores, de forma mais tradicional, uma sensação de que os alunos não compreendiam o fenômeno que estava sendo discutido, por simplesmente desconhecerem ou não terem vivenciado a situação escolhida como objeto de análise.

Na atividade de desfecho, houve um problema, pois escolhi uma estratégia equivocada. Coloquei novamente as mesmas questões, que foram elaboradas para a etapa inicial, para que os alunos olhassem novamente para o que tinham feito, propusessem modificações (se fosse o caso) e ampliassem a compreensão dos fenômenos. Com a oportunidade de escrever novamente, sem apagar o que tinham escrito anteriormente, imaginei que seria possível comparar a qualidade das respostas e das explicações. Entretanto, os alunos, em sua maioria, consideraram tediosa a atividade dizendo que nada havia mudado e que uma nova resposta não precisaria ser

escrita. Isso não aconteceu nas atividades seguintes, pois reformulei as perguntas colocadas na etapa do desfecho, para que escrevessem sobre a mesma situação, num contexto diferente, a fim de procurar e registrar modificações conceituais.

Muitos alunos conseguiram descrever o fenômeno durante a etapa preliminar, mostrando familiaridade com ele. Entre as respostas possíveis para a explicação de como a caixa de som “adivinha” que o celular vai tocar, mais da metade dos alunos apontou que ocorre interferência, na caixa de som, da onda que é recebida pelo celular. O resultado dessa interação é um ruído.

Exemplos de respostas¹⁵:

- Conceito de interferência como barulho, ruído, algo ruim
 - “as ondas que são emitidas para o celular, para ele tocar, interfere a caixa de som, provocando um barulho”
 - “quando o celular está prestes a tocar a caixa de som começa a fazer um barulho compassado, como se fosse uma interferência.”

A outra metade dos alunos dividiu suas respostas em duas possíveis explicações. Parte deles apontou que a caixa de som intercepta a onda que está se propagando em direção ao celular, parte deles procurou explicar se referindo a um encontro de ondas emitidas pelo celular e pela caixa de som. Entretanto, poucos conseguiram construir uma sentença que explicasse o ocorrido de uma maneira mais apropriada, como se espera do ponto de vista do formalismo científico:

“A antena da operadora de celular manda informações (ondas) para o celular que acaba se misturando com as ondas sonoras da caixa de som ocorrendo interferência” (Aluno E)

Na questão 2, solicitamos que os alunos representassem as ondas enviadas pela estação de rádio que seriam captadas pela antena da casa. Basicamente foram duas as representações escolhidas pelos alunos para responder a essa questão: sinal senoidal direcional ou frentes de ondas circulares. Essas respostas figuraram com,

¹⁵ As respostas estão escritas como os alunos o fizeram.

praticamente, a mesma frequência. Apenas dois alunos se valeram de ambas representações, enquanto que outros quatro representaram a onda como um sinal senoidal não periódico.

Durante a segunda etapa, os alunos puderam perceber, verificar e relacionar a emissão e recepção de um onda eletromagnética, assim como criar uma representação para o fenômeno.

Para a terceira etapa, foi escolhida como estratégia oferecer aos alunos uma nova oportunidade de responderem as questões iniciais. Nosso objetivo era procurar evidências de mudanças conceituais. Nas novas representações, foi possível verificar, em quase todas as respostas, ondas emitidas em linha reta. Além disso, em muitas respostas, verificamos a representação de um sinal que perde amplitude devido à absorção durante a propagação, além da inclusão de vetores que poderiam representar a força elétrica ou o campo elétrico, na simulação.

Ampliando o repertório

Para esse encontro, foi previsto um momento de formalização acerca das ideias surgidas das discussões e reflexões feitas pelos alunos em pequenos grupos. A estratégia utilizada para essa aula expositiva foi o Método Colaborativo Presencial, organizado por Moreira (2010). Por meio da diferenciação progressiva, foi possível extrapolar a ideia de envio de sinal por um receptor e sua propagação, por um meio, até a detecção, feita pelo receptor, como foi visto no uso da simulação, usando como recurso uma mola longa. Quando um pulso era criado e enviado, de uma extremidade a outra, um sinal era detectado pelo receptor. A semelhança entre este caso e aquele simulado pelo objeto virtual permitiu criar um novo conceito de onda associado ao transporte de energia, sem deslocamento de matéria. Em seguida, por meio da reconciliação integrativa, esse novo conceito foi relacionado, de forma hierárquica, à rede de conceitos já existentes.

A sensação de que os alunos, em sua maioria, envolveram-se na discussão, foi superior àquela de experiências anteriores em que a mesma aula foi realizada, mas sem a atividade prática que fez uso da simulação. Embora sempre houve alunos que seriam capazes de acompanhar a discussão, mesmo se não tivesse existido a atividade anterior, o envolvimento e a participação dos alunos nessas aulas 5

e 6 foi expressiva. Pensamos que, dessa forma, a hipótese de que o uso de simulações auxilia no desenvolvimento ou criação de subsunçores se mostrou verdadeira. A partir daí, foi possível associar ao envio/recepção do sinal qualidades físicas como frequência, amplitude, velocidade e comprimento de onda e suas relações com as variáveis relevantes como o meio no qual a onda se propaga, características físicas da fonte associada à frequência da onda, culminando na representação matemática da onda e sua representação simbólica em termos da velocidade de propagação, comprimento de onda e frequência.

Atividade 3 – Ondas sonoras

Essa foi a segunda atividade que fez uso do objeto virtual de aprendizagem. A simulação destacada trata da emissão e recepção de ondas sonoras. Na etapa inicial, perguntamos o que é volume do som e quais grandezas – frequência e amplitude – estão relacionadas com esse conceito. Espontaneamente, na primeira resposta, a grande maioria dos alunos respondeu que o volume do som dependia da intensidade da onda com poucas respostas relacionando o conceito volume, que é do senso comum, com amplitude e energia associadas às ondas. Em relação à segunda pergunta, “Como as grandezas estudadas (frequência e período) se relacionam com essa informação?”, a grande maioria dos alunos respondeu amplitude.

Pertenceu, ainda, a essa etapa da atividade, uma questão extraída de uma prova de vestibular que apresenta o fenômeno da reflexão de uma onda sonora (eco). No primeiro item (igual ao da prova original), pede-se para o aluno calcular o intervalo de tempo entre o sinal enviado e recebido a 17 metros de distância. No item b, criado especialmente para a sequência didática, pedia-se aos alunos que representem as ondas incidente e refletida apontando suas características, destacando semelhanças e diferenças. Metade dos alunos fez a questão corretamente, mesmo que todos tenham tentado respondê-la. No item b, verificamos que grande parte das respostas associou (corretamente) a manutenção da velocidade e do comprimento de onda com a diminuição da amplitude, porém, em um número expressivo de respostas, o aluno associou à onda refletida, uma diminuição da frequência. Como esperávamos, os conceitos discutidos na aula anterior (amplitude, frequência, velocidade e

comprimento de onda) apareceram nas respostas, demonstrando uma ampliação do repertório dos alunos.

A atividade de interação, segunda etapa do processo, é composta de três partes:

1. Análise qualitativa das relações entre as variáveis frequência e amplitude em função da posição do observador;
2. Método e cálculo da velocidade do som usada pelo programador da simulação; relação entre frequência e comprimento de onda;
3. Fenômeno de interferência.

Na primeira, em função do enunciado da questão não ter ficado muito claro e da dificuldade dos alunos em relacionar mais de duas variáveis numa única análise, as respostas ficaram dispersas, dificultando uma análise posterior. Entretanto, ela serviu ao propósito de oferecer aos alunos uma possibilidade de perceber a relação entre as grandezas físicas, à medida que cumpriam as tarefas solicitadas. Na segunda parte, os alunos foram desafiados a descobrir qual a velocidade de propagação da onda utilizada na elaboração da simulação. A maioria dos grupos de alunos tentou determinar o deslocamento de uma frente de onda dividindo-o pelo intervalo de tempo. Não foi uma tarefa simples dessa maneira, pois muitas foram as fontes de erros. Entretanto, durante a realização da atividade, apenas dois grupos usaram o que tinha sido apresentado na aula anterior (a equação fundamental da Ondulatória). Esses dois grupos “congelaram” a propagação da onda por meio de um recurso disponível na simulação, mediram a distância entre duas cristas consecutivas e multiplicaram esse valor pela frequência especificada no OA. Ao final, solicitei que os grupos divulgassem para os demais os valores obtidos e explicassem o método utilizado. Na terceira e última etapa da atividade de interação, o objetivo é que o aluno relacione o padrão de interferência, visualizado na simulação, obtido pela superposição das frentes de onda emitidas por duas fontes próximas a um observador, com o sinal emitido, de fato, pelos alto falantes do computador pessoal, expressando o que seria ouvido pelo

observador. Essa etapa da atividade foi, particularmente, bastante divertida, pois os alunos tinham que ouvir o sinal emitido pela fonte e como ele seria percebido pelo observador em diferentes pontos. A atividade deveria contemplar um desenho da onda permitindo aos alunos uma relação entre o sinal percebido e o fenômeno da interferência.

A atividade desfecho acabou ficando como tarefa, pois não houve tempo hábil para resolvê-la em sala de aula. Essa etapa consistia na construção de gráficos com base nos dados obtidos na parte 1 da atividade de interação. O primeiro gráfico a ser construído era de comprimento de onda em função da frequência. Como a velocidade da onda é constante, pois se propaga sempre num único meio material, a curva esperada era uma hipérbole equilátera. Isso foi verificado na maioria dos resultados apresentados pelos alunos, embora alguns tivessem construído uma reta decrescente e outros poucos se mostraram confusos, pois tinham pontos que representavam medidas, certamente, equivocadas, pois destoavam do comportamento esperado. Com relação ao segundo gráfico, de comprimento de onda em função da amplitude da onda, todos construíram, como era de se esperar, uma representação constante.

Organizando as ideias

Essa aula foi planejada para formalizar o tratamento dos fenômenos ondulatórios que foram discutidos, analisados e simulados durante as aulas anteriores. Curiosamente, ela coincidiu com uma preocupação dos alunos, das duas turmas, em relação à “insegurança” em função da proposta alternativa de condução das aulas. Acredito que essa relativa insegurança teve origem na impressão de que as aulas não foram dadas, pois o processo não foi conduzido da maneira tradicional, quando os alunos são agentes passivos do processo e o professor centraliza todas as ações. Penso que isso é um reflexo dos acordos estabelecidos implicitamente nas aulas, no qual o professor dá as aulas, apresentando o conteúdo que vai “cair” na prova. Certamente, essa sensação (de que as aulas não tinham sido dadas, pelo menos da forma como os alunos esperavam) agravou-se com a proximidade do final do mês. É nesse período que os demais professores agendam e realizam avaliações parciais, escolhidas dentro

de critérios próprios e individuais. Essas avaliações são denominadas avaliações mensais e compõem a nota final do aluno, juntamente com a avaliação oficial e obrigatória, que acontece ao final do trimestre.

A minha escolha, para condução dessa aula, pautou-se pela resolução de exercícios que constavam no material apostilados alunos. Imaginei que isso traria a segurança necessária para a condução do projeto até o final, garantindo o mesmo envolvimento e seriedade por parte dos alunos, durante todo o processo. Embora fosse, simplesmente, uma aula de resolução de exercícios, optei por escolher aqueles que trouxessem uma situação problema mais fácil de ser identificada, de forma que a sua condução e resolução tivessem que, necessariamente, fazer uso dos conceitos, fenômenos e resultados obtidos nas aulas anteriores. Procurei, durante todo o processo, valer-me do método colaborativo presencial. A cada conceito, decorrente da discussão e resolução de uma questão presente na apostila, destacava um novo conceito, uma nova ideia a partir de um conceito já existente, que servia de base para a atribuição de novos significados (diferenciação progressiva) para, em seguida, devolver esse novo conceito à rede de conceitos já existentes, relacionando-o de forma hierárquica, estruturada e repleta de significados (reconciliação integrativa).

Aula extra / Feriado

Nessa semana, como havia um feriado coincidindo exatamente com a aula da turma A, optei, ao invés de defasar a programação inicialmente planejada para as turmas, por realizar uma atividade complementar com a turma B. Essa atividade extra também foi realizada com a turma A, pois, no próximo feriado, no dia 15 de novembro, seria a turma B que não teria aula. Para esse encontro, discuti o fenômeno da ressonância como sendo decorrente da situação de interferência que havíamos discutido na atividade 3 sobre ondas sonoras. Fizemos a leitura do texto presente no material didático apostilado, que os alunos já possuíam, em conjunto com a exibição de um vídeo¹⁶ que mostra uma taça quebrando, após entrar em ressonância com um sinal sonoro, emitido por uma caixa de som.

¹⁶ http://www.youtube.com/watch?v=qy1c5_vYTVo acessado em 04 de dezembro de 2013

Atividade 4 – Corda Esticada

A simulação utilizada nessa atividade (*wave – on – a – string*) traz a representação de uma corda elástica, na qual era possível gerar pulsos ou conectar uma fonte de perturbações, que emitisse ondas continuamente. As variáveis passíveis de serem controladas eram frequência, amplitude, amortecimento e tração na corda, no caso da emissão da onda e, para a emissão de pulso, amplitude, largura do pulso, amortecimento e tração na corda. A extremidade final da corda também podia ser escolhida e havia 3 opções: final fixo, final solto ou sem final, de forma que nesta, não havia reflexão do pulso ou da onda incidente.

Nessa atividade, a parte inicial (preliminar) traz para o aluno a solicitação de elaboração de um novo mapa sobre ondas. Nossa intenção foi avaliar, até esse momento, os eventuais ganhos conceituais dos alunos, além de proporcionar a possibilidade de organização conceitual, muito em virtude ainda da sensação de que nada havia sido aprendido, como foi discutido anteriormente.

Devido ao calendário escolar, essa seria a última atividade experimental oferecida pelo projeto de implementação da sequência didática, pois teríamos o feriado de 15 de novembro (assim como tivemos o feriado em 2 de novembro, fazendo com que as turmas tivessem seguido exatamente a mesma programação), além de uma aula para realizar a reconciliação integrativa, uma semana antes da data da avaliação final, que marcava o fim do período regular letivo.

Na segunda etapa desta atividade (interação com a simulação), foi solicitado aos alunos, em dois momentos distintos, que analisassem a velocidade de propagação de um pulso, em função das características do meio (parte 1) e que relacionasse comprimento de onda e frequência na propagação de uma onda (parte 2). Na parte 1, desta 2ª etapa, para a determinação da velocidade do pulso, os alunos foram deixados livres, isto é, não havia, inicialmente, um roteiro para ser seguido, pois foi solicitado que os próprios alunos, usando os recursos disponíveis, propusessem e executassem um método para obter uma resposta. Logo em seguida, foi solicitado aos alunos que descrevessem qualitativamente, por meio do controle de variáveis, as relações entre a velocidade de propagação de um pulso e as variáveis que caracterizam

o próprio pulso e meio no qual ele se propagava: amplitude, tração na corda e amortecimento. Devido à facilidade de alteração das variáveis envolvidas, essa atividade mostrou-se bastante dinâmica e apropriada, pois os alunos, quase que instintivamente realizaram as alterações, movidos pela curiosidade em descobrir o que iria acontecer. Por último, antes da parte 2, os alunos deviam caracterizar o pulso refletido, em função da extremidade da corda elástica (fixa ou livre). Nessa parte, os comandos *play*, *pause* e *step*, foram indispensáveis, permitindo a visualização de um fenômeno extremamente rápido, no mundo real.

Na parte 2 desta etapa, ao realizar o estudo das relações entre comprimento de onda e frequência, embora o roteiro fosse mais fechado, isto é, foi proposto aos alunos a determinação das variáveis sem que eles pudessem usar sua criatividade na atribuição de valores, possibilitou-se, a cada dupla, o tempo necessário para a compreensão das relações entre as grandezas. Em outras palavras, cada dupla avançava para o conjunto de valores seguinte quando (e somente quando) tivesse completado o anterior, sem que houvesse um atropelo.

A última etapa desta atividade, o desfecho, não foi possível realizar, pois o tempo de aula não foi suficiente, em virtude do tempo decorrido por cada dupla na conclusão da etapa anterior. Por isso, foi transferida para a semana seguinte. Essa etapa foi constituída da resolução de duas situações problema, que foram baseadas em exercícios retirados de vestibulares. A escolha da estratégia deu-se em função da necessidade de mostrar aos alunos que essa metodologia, embora não parecesse aos olhos deles, certamente contribuiria para o seu processo de aprendizagem, permitindo, inclusive, que eles fossem preparados para os exames vestibulares. Entretanto, adiar em uma semana a conclusão dessa atividade, inviabilizou a última atividade planejada, que propunha o uso de uma cuba de ondas muito simples, em conjunto com a simulação *wave interference*.

Complementação da atividade 4 (desfecho)

Como apontado anteriormente, esse encontro permitiu finalizar a

atividade 4, que havia começado na semana anterior. Ele pautou-se na resolução de dois exercícios, que traziam a discussão das relações entre velocidade, frequência e comprimento de onda, de uma mesma onda, propagando-se em dois meios distintos. O objetivo foi introduzir o fenômeno da refração, até então não apresentado, pois tínhamos, nas atividades anteriores discutido reflexão, interferência, ressonância, além das características de ondas eletromagnéticas e sonoras. Além disso, outro objetivo explícito, presente nessa atividade, consistiu na preparação dos alunos para a avaliação final, prevista para a semana seguinte. Como já abordamos nessa dissertação, os alunos, ainda por estarem “presos” aos acordos implícitos que existem nas aulas, deixavam transparecer certa insegurança em relação à própria aprendizagem, em função da metodologia do projeto.

Última atividade / Avaliação final

Essa avaliação final foi constituída de uma prova tradicional, com questões selecionadas a critério do professor, mas, necessariamente, executada em data prevista e determinada pela coordenação. Selecionamos 5 questões, dos principais vestibulares, que foram adaptadas de forma a evidenciar a presença de uma situação problema, na qual fosse fundamental a análise da questão, à luz dos conhecimentos de Ondulatória apresentados ao longo da aplicação da sequência didática.

Situações diversificadas nas quais seria necessário, por exemplo, construir um sistema de ondas de acordo com as leis da reflexão, fizeram parte da prova. Além disso, situações cotidianas como o uso de um telefone de latinha, numa brincadeira de crianças, foi objeto de análise. Também estiveram contempladas situações em que foram necessárias análises quantitativas numa situação em que era evidente uma refração ou mesmo análises qualitativas na representação de grandezas como frequência, amplitude e período representadas graficamente num sistema de coordenadas.

Essa aula, que apresenta a propagação de pulsos numa corda e formação de onda, de acordo com o material apostilado adotado pelo colégio, deveria

ser a primeira aula, porém, na nossa sequência didática, criamos outras quatro oportunidades a fim de contribuir com o desenvolvimento de subsunções antes que essa atividade fosse realizada.

4.4 Ajustes

A metáfora que, na minha opinião, traduz a atividade docente, na qual o professor procura, de forma reflexiva, continuamente pesquisar sobre a sua prática pedagógica, genuinamente preocupado com as situações de “ensinagem” e aprendizagem que propõe aos seus alunos, consiste em construir uma aeronave em pleno voo, de sorte que, concomitantemente, o serviço de bordo aconteça enquanto uma poltrona nova está sendo instalada numa fileira posterior, a 10 mil pés de altura.

Sendo assim, a elaboração e aplicação dessa sequência didática ia sendo modificada de acordo com a sua implementação. Nesse momento, após a sua completude, durante a redação da dissertação, certamente organizam-se novas orientações que produzem reformulações. Penso que não será diferente também quando um professor tomar conhecimento desse trabalho e resolver se apropriar dele, realizando todos os recortes necessários para adaptá-lo a aplicá-lo em suas aulas, em função da sua prática. Portanto, vale apresentar alterações que foram executadas por mim ao reutilizar essa sequência no ano seguinte, além de cuidados que devem ser tomados na reelaboração e apropriação. Entre elas, destaco:

- a importância de elaborar a atividade a ser utilizada durante a etapa preliminar, diferente daquela que será usada no desfecho. Durante a execução da primeira atividade, propus aos alunos que refizessem a mesma atividade. Ofereci outra folha em branco que continha a atividade esperando que eles a resolvessem novamente. Minha intenção era comparar as respostas. Não entreguei a mesma folha, pois pensei que os alunos iriam apagar o que havia sido escrito e, dessa forma, eu perderia o registro referente às mudanças conceituais. Entretanto, os alunos expressaram verbalmente e relataram na atividade de desfecho que nada havia mudado em relação a sua resposta inicial. Ainda acredito na ideia de comparação, mas faria com que os mesmos conceitos aparecessem em questões semelhantes;

- a relevância de elaborar atividades mais curtas, pois, embora 90 minutos pareçam um tempo grande e suficiente para que os alunos realizem as atividades, isso não se revelou na prática. De fato, a última atividade não coube no tempo previsto e acabou inviabilizando a que, de fato, seria a última da sequência didática;
- a inserção de um momento de reflexão sobre a atividade realizada. Ele serviria à sistematizações de ideias, hierarquização de conceitos, além de permitir ao professor coletar impressões dos alunos acerca da atividade para futuras adaptações.

5. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Esse capítulo tem o propósito de iniciar uma discussão que não tem um fim em si, pois pretende, como seu título sugere, apresentar e analisar resultados decorrentes da elaboração e implementação da sequência didática que foi produto dessa dissertação de mestrado profissional. A certeza de que a discussão não se encerra com a publicação desse trabalho decorre da sua própria natureza de desenvolvimento e implementação, seguida sempre de avaliações e reformulações e novas aplicações que se sucederam no decorrer desse processo e ainda decorrerão com outros professores que a recortarem, reformularem e usarem em suas salas de aula, refletindo continuamente sobre sua prática pedagógica. Entretanto, esse capítulo procurou esgotar as análises feitas e destacadas, seguindo, para isso, a apresentação de discussão de alguns mapas conceituais elaborados pelos alunos nas atividades 1 e 4 que aconteceram num intervalo de tempo de, aproximadamente, 50 dias. Procuramos analisar com o olhar de um professor pesquisador, os impactos do trabalho em relação aos alunos, à escola e à sua própria prática pedagógica.

5.1 Resultados

A construção dos mapas de conceitos pelos alunos aconteceu na atividade inicial e na atividade 4, espaçados no tempo, num intervalo aproximado de 50 dias. Na turma A foram elaborados 30 mapas na atividade inicial e 29 durante a atividade 4. No dia da realização da atividade 4, um aluno esteve ausente. Já na turma B, tivemos um mapa a mais sendo construído, pois um aluno veio transferido de outra instituição de ensino. Nessa turma foram, portanto, 31 e 32 mapas construídos.

Na atividade 1, o objetivo foi realizar uma medida inicial de como cada aluno seria capaz de relacionar os conceitos referentes à temática abordada pela sequência didática, trazendo, do mundo das ideias para a discussão, as suas concepções iniciais. Numa sondagem inicial, quando decidimos pela utilização do mapa de conceitos como ferramenta pedagógica, descobrimos que os alunos já conheciam essa técnica, pois ela era amplamente utilizada pelo professor de redação como estratégia de organização de ideias para produções textuais. Por essa razão,

percebemos uma certa facilidade dos alunos na construção dos diagramas e nas associações feitas, porém, sem um rigor evidente quanto ao significado de mapa de conceito (ou mesmo mapa conceitual) percebido na ausência de hierarquização de conceitos. Mesmo assim, muitos mapas trouxeram fenômenos ondulatórios de maneira explícita, porém sem explicações ou relações com os demais conceitos apontados no mapa. Apenas um mapa estabeleceu uma relação dos conceitos ondulatórios com a transmissão de dados. A constatação dessas observações foram obtidas dos mapas destacados nas figuras 6, 7 e 8:

Mapa 1 – Aluno E

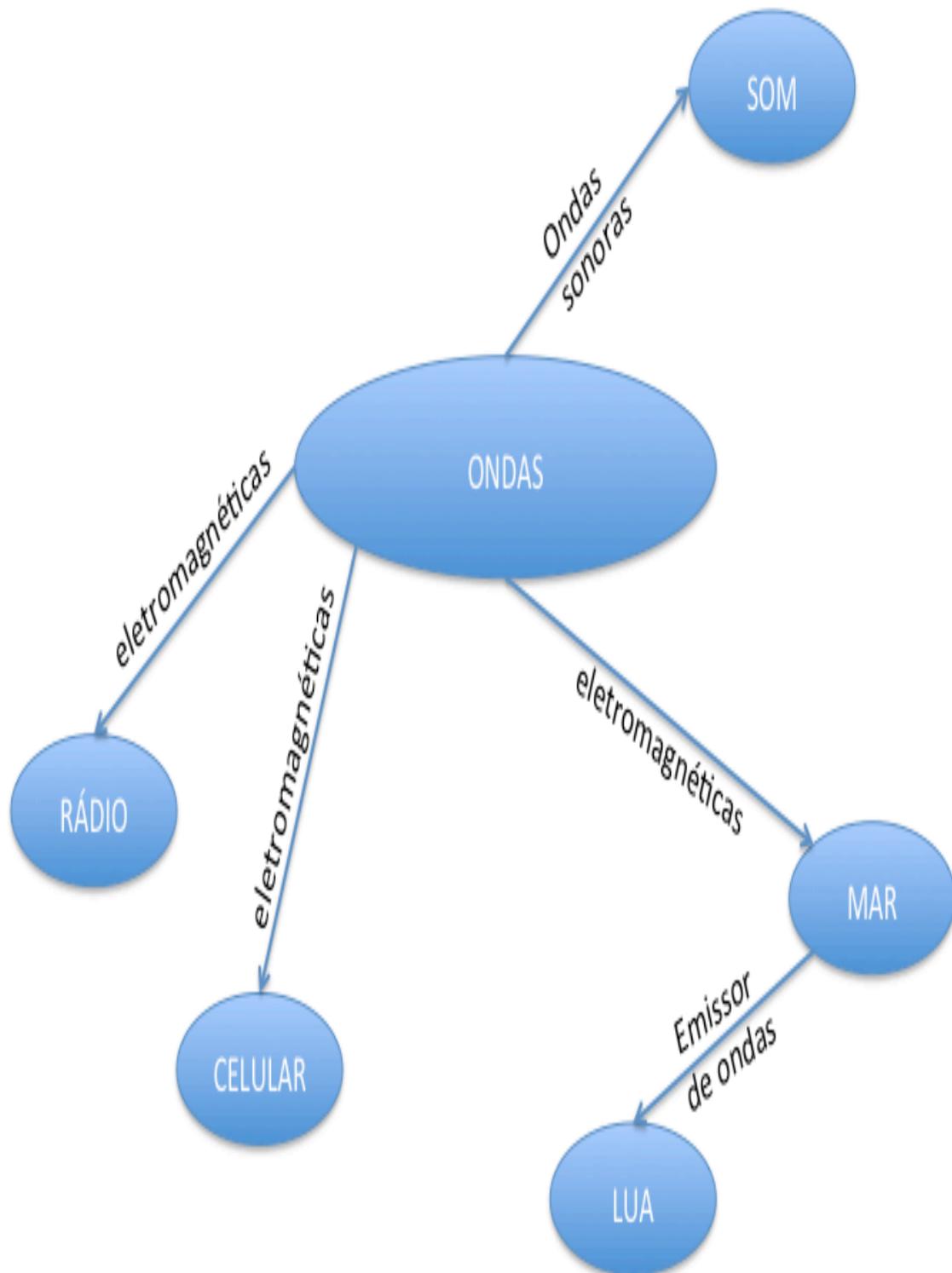


Figura 6 – Mapa do aluno E (1ª atividade)

Mapa 1 – Aluno G



Figura 7 – Mapa do aluno G (1ª atividade)

Mapa 1 – Aluno I

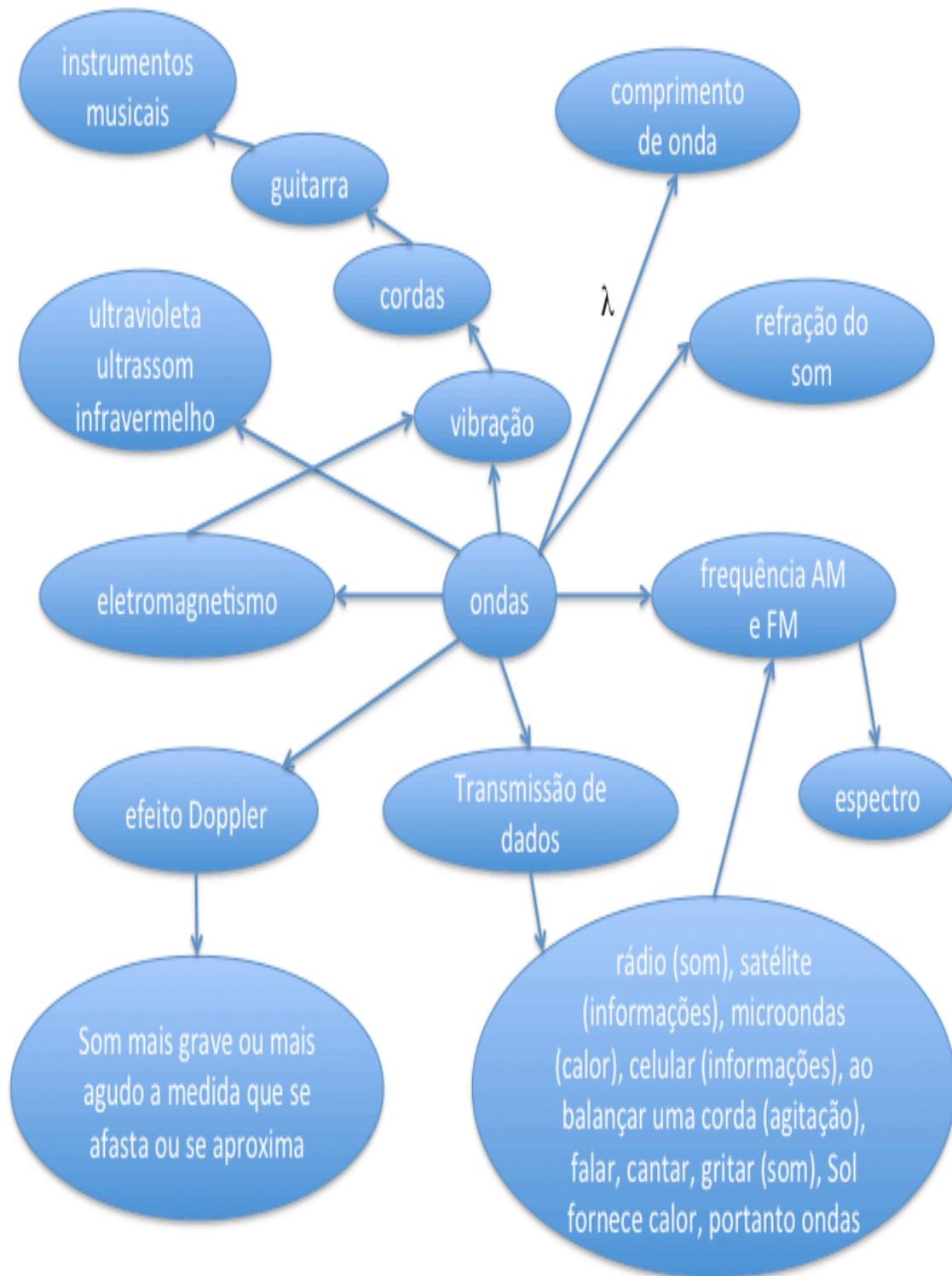


Figura 8 – Mapa do aluno I (1ª atividade)

Esse aspecto (relacionar ondas à transmissão de dados) surpreendeu-me, pois o acesso aos equipamentos com envio e recepção de informações sem fio é facilitado aos alunos, isto é, pertencem ao universo dos alunos conexões *wireless*, *wi-fi* ou *bluetooth*, entretanto, não foram óbvias essas associações.

De uma maneira geral, analisando os mapas elaborados, foi possível perceber diferentes níveis de conhecimento dos alunos em função das relações estabelecidas e seus níveis de complexidade. Isso evidencia, como era de se esperar, um grupo heterogêneo em relação à temática abordada pela sequência didática. O que seria um problema para uma aula expositiva, pois o professor, nesse caso, precisa escolher um ponto de partida, dada uma situação inicial, que possa ser o mais universal possível, para aquele grupo específico de alunos, torna-se um diferencial positivo no processo, pois enriquece a interação entre os pares, como realizado a partir da metodologia adotada. Essa heterogeneidade, percebida como vantagem pedagógica, pode ser observada nos mapas a seguir:

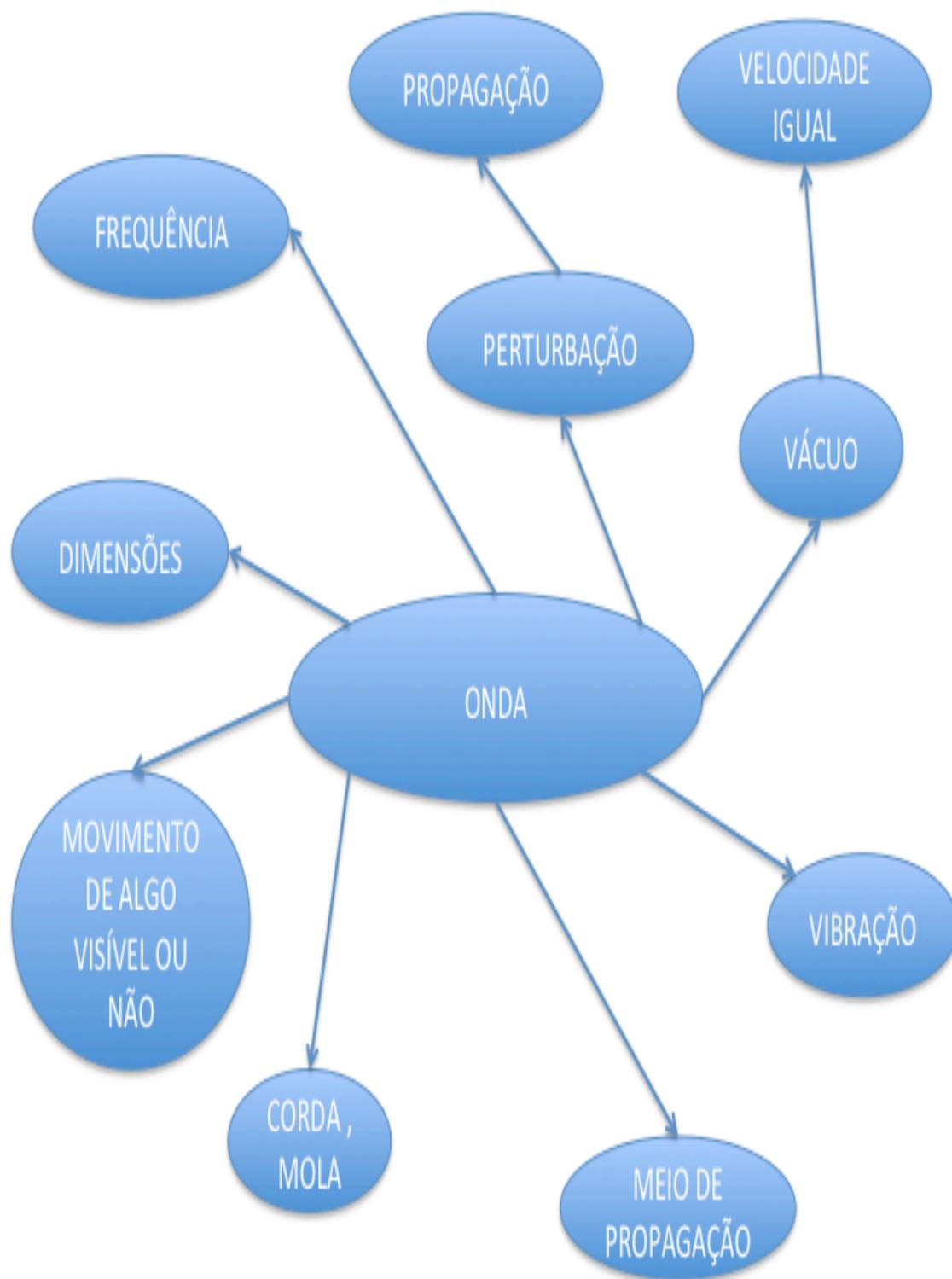
Mapa da atividade 1 – aluno B

Figura 9 – Mapa do aluno B (1ª atividade)

Mapa da atividade 1 – Aluno D

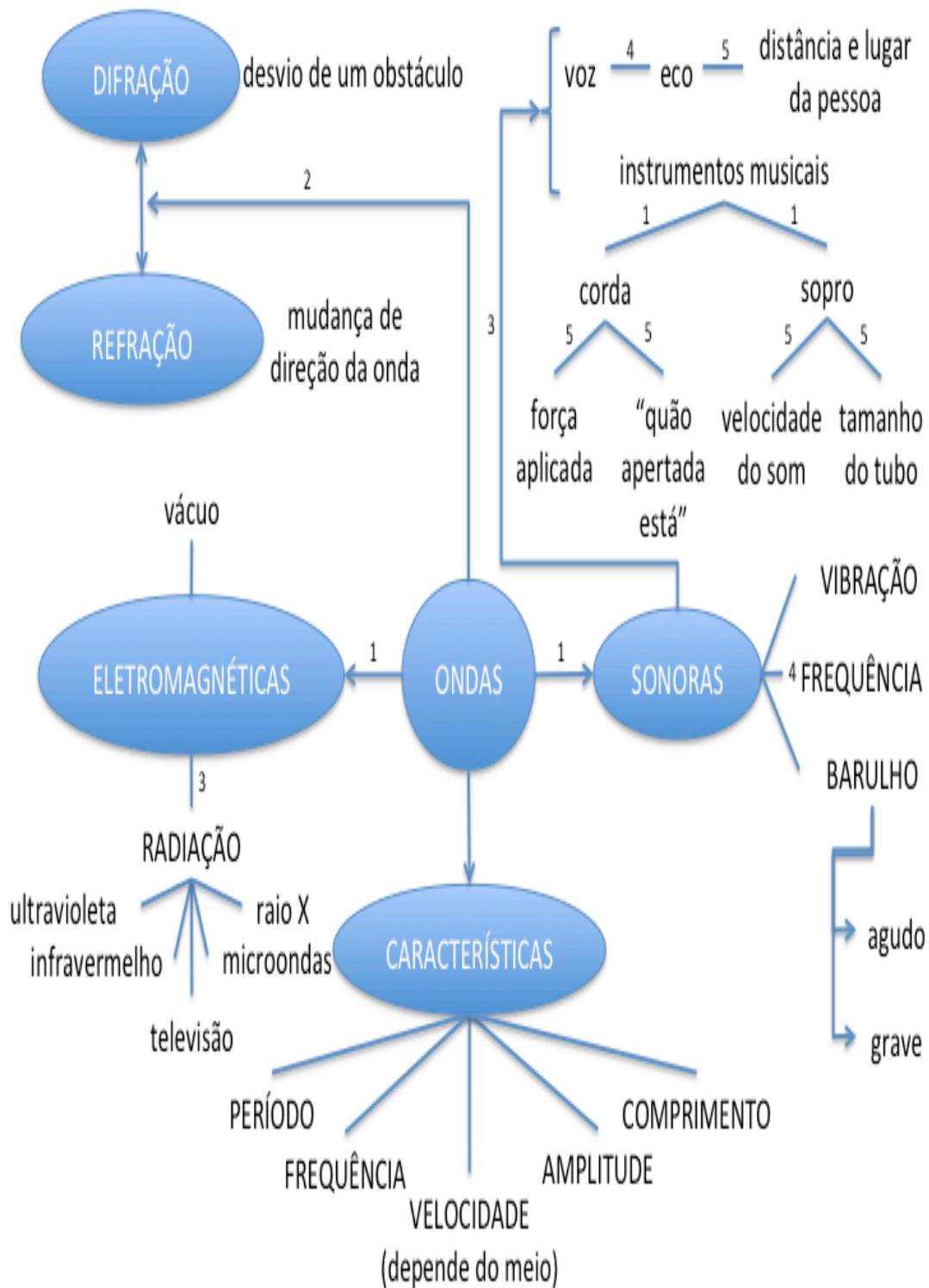


Figura 10 – Mapa do aluno D (1ª atividade)

1: podem ser; 2: sofrem; 3: são; 4: produz; 5: dependem.

Mapa da atividade 1 – aluno H

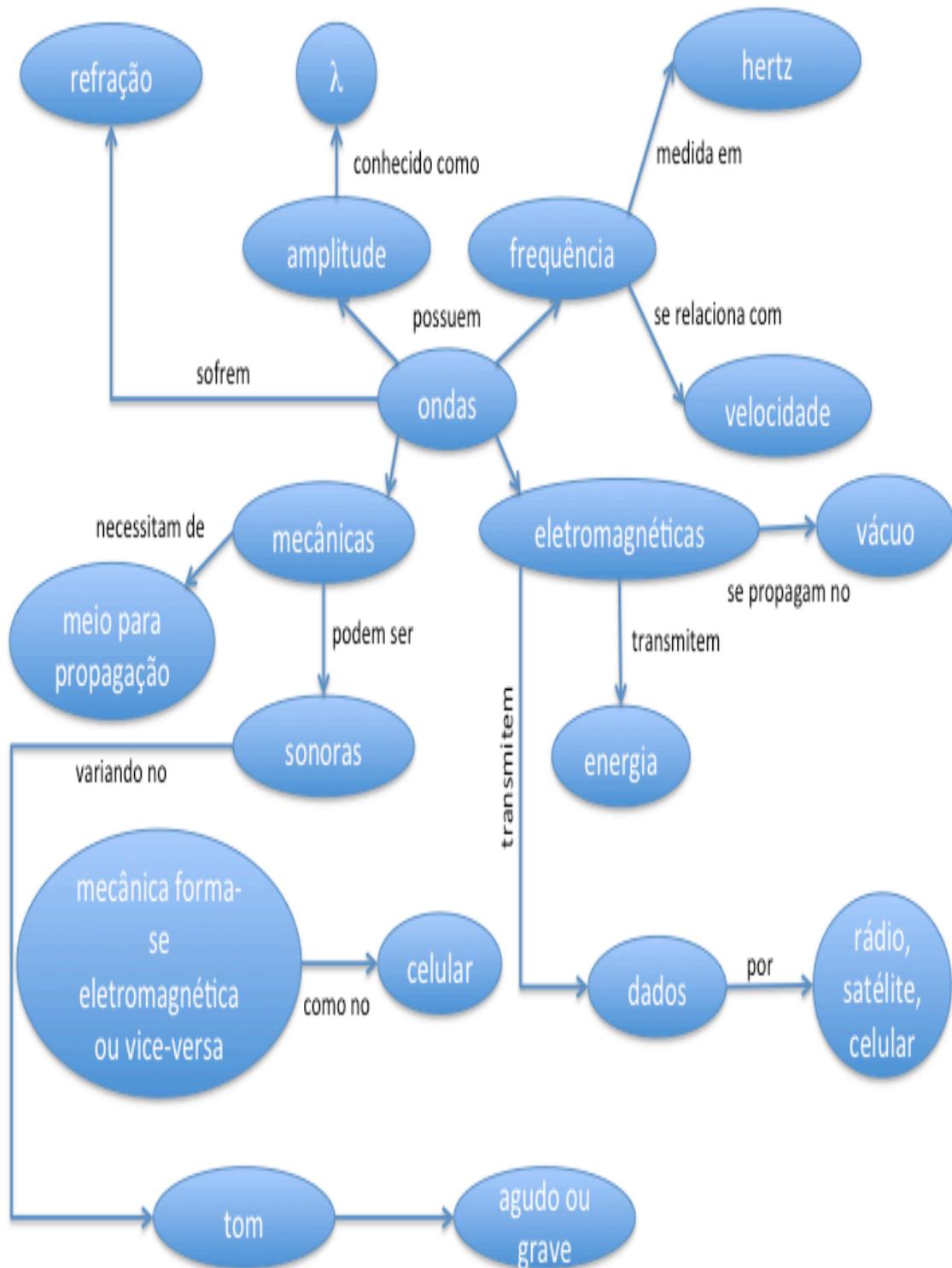


Figura 11 – Mapa do aluno H (1ª atividade)

Mapa da atividade 1 – aluno A

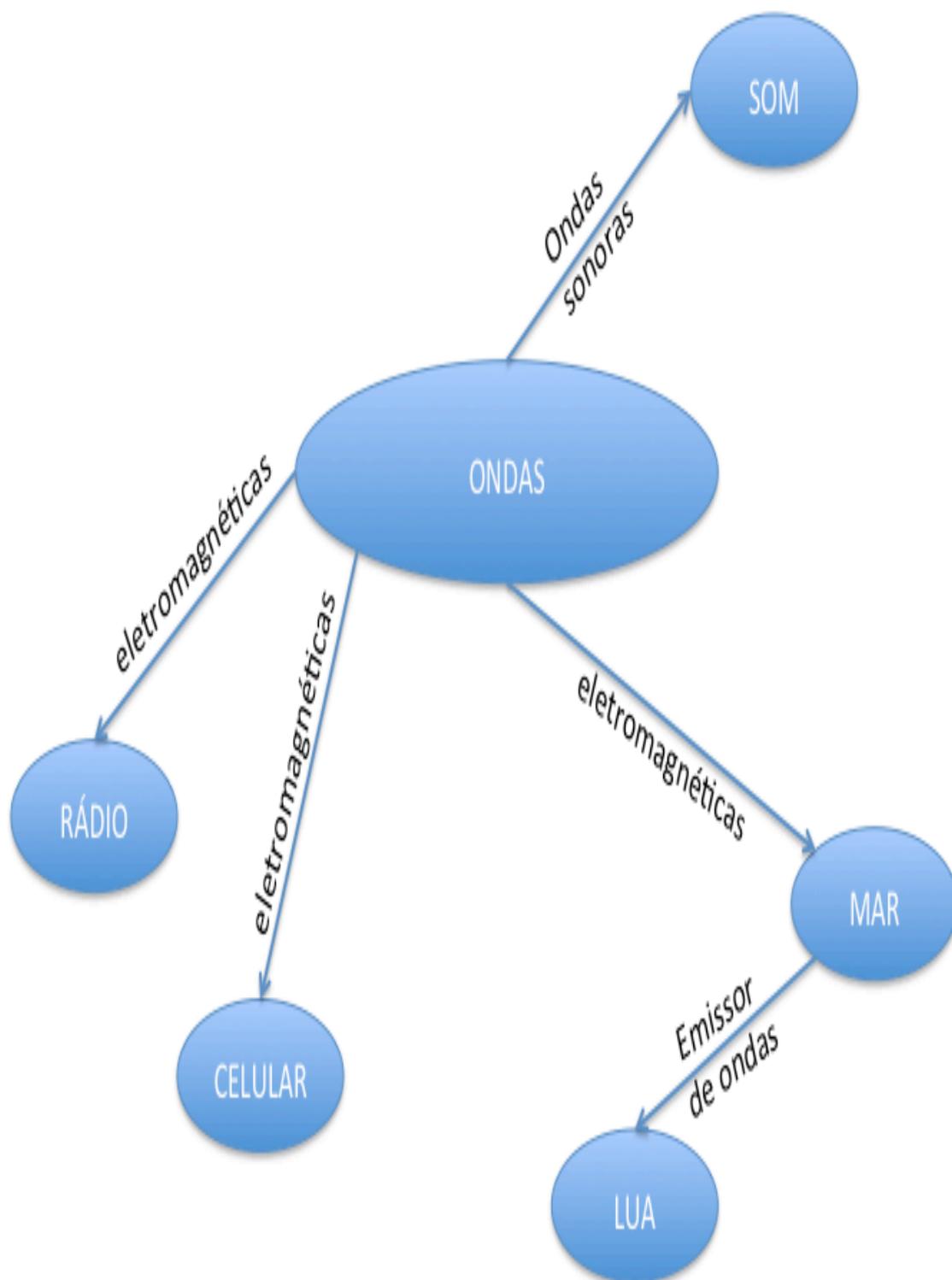


Figura 12 – Mapa do aluno A (1ª atividade)

Mapa da atividade 1 – Aluno F

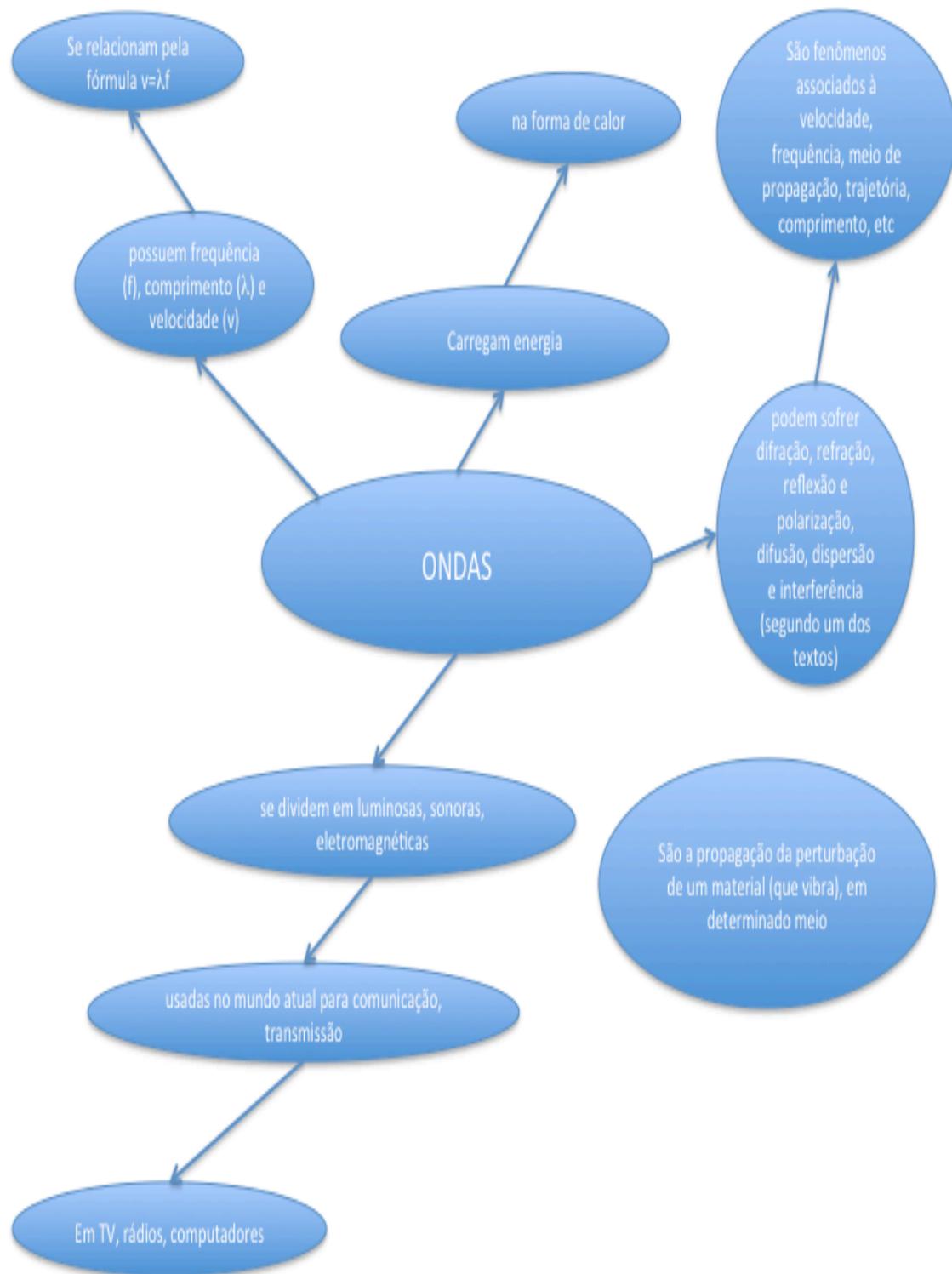


Figura 13 – Mapa do aluno F (1ª atividade)

Mapa da atividade 1 - Aluno C

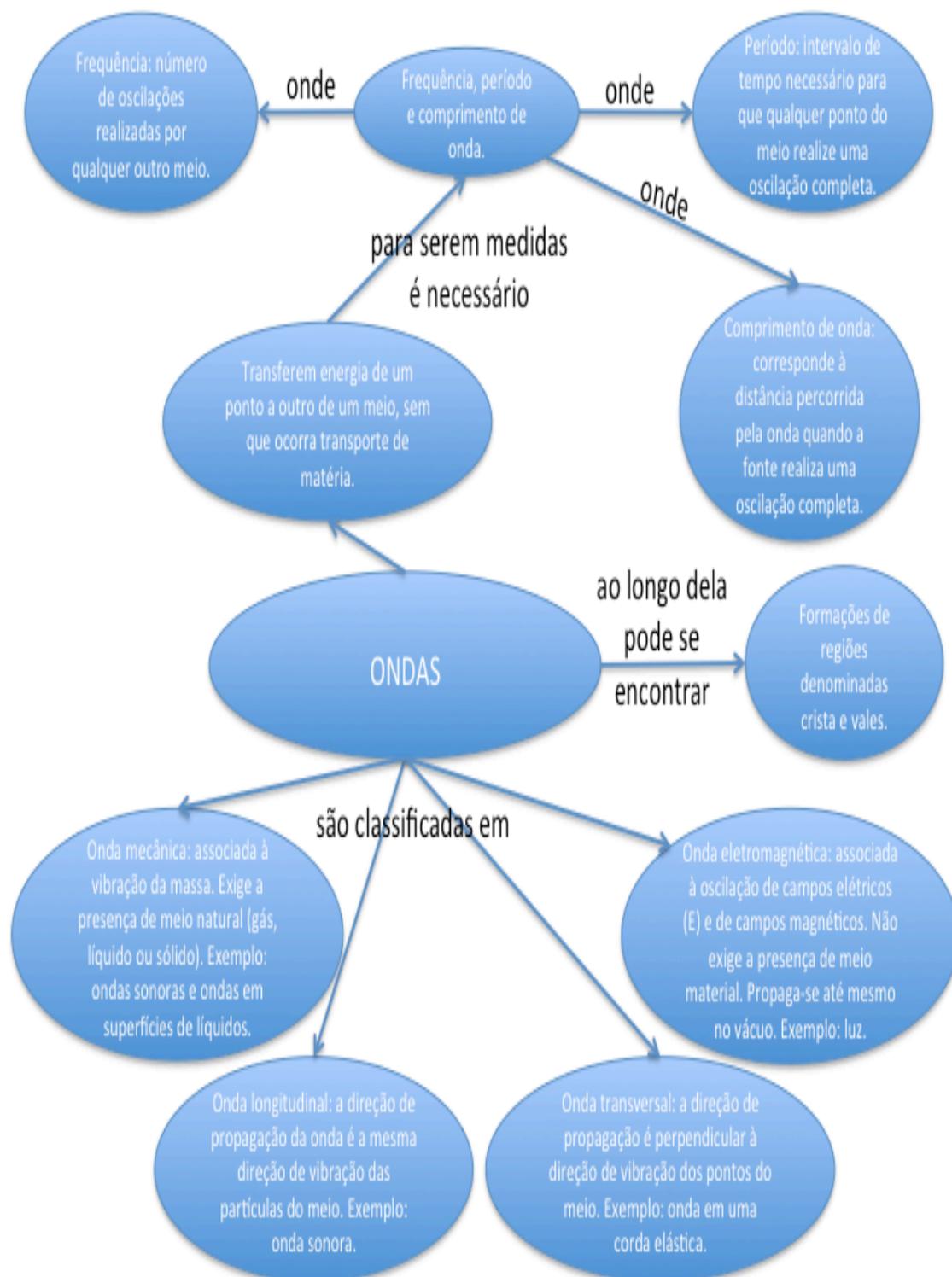


Figura 14 – Mapa do aluno C (1ª atividade)

O mapa da atividade 4, construído por cada aluno, tinha como objetivo permitir uma comparação entre este e o da atividade 1, a fim de obter indícios que fornecessem uma evolução conceitual decorrente do percurso pedagógico conforme as atividades fossem desenvolvidas. A seguir são apresentados mapas de conceitos elaborados por alguns dos alunos, das turmas A e B, na atividade 4, juntamente com os mapas elaborados na atividade 1. Optamos por colocar sequencialmente os mapas decorrentes desta atividade (mapa 1) com aqueles que foram elaborados como atividade 4 (mapa 2) na sequência didática, para facilitar a observação comparativa e perceber a evolução conceitual de cada aluno.

O Aluno A construiu um mapa inicial relativamente simples. O segundo mapa, embora ainda pobre de relações comparado aos demais mapas construídos por outros alunos, apresentou uma organização mais complexa de ideias:

Mapa 1 – Aluno A

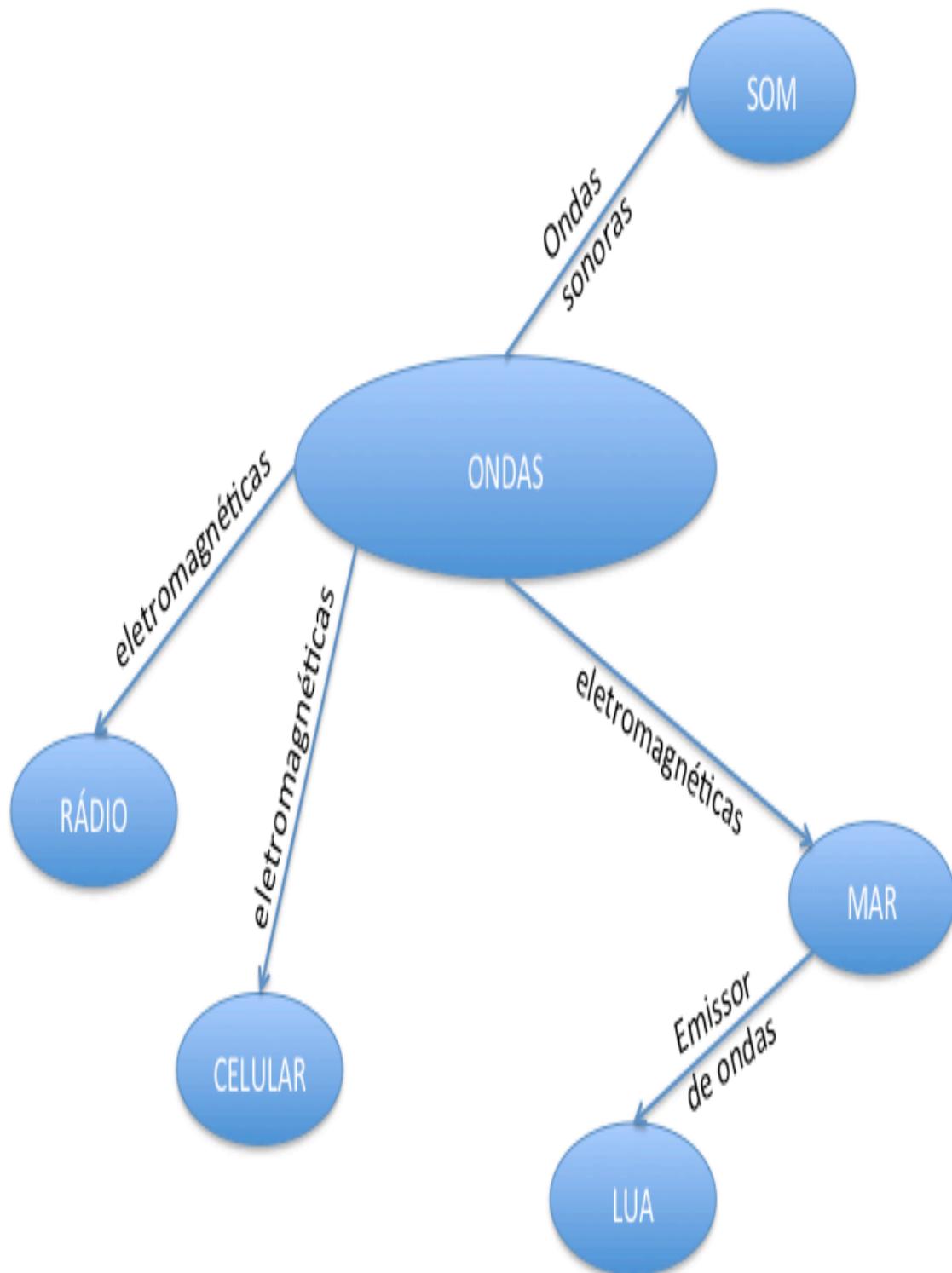


Figura 15 – Mapa do aluno A (1ª atividade)

Mapa 2 – Aluno A

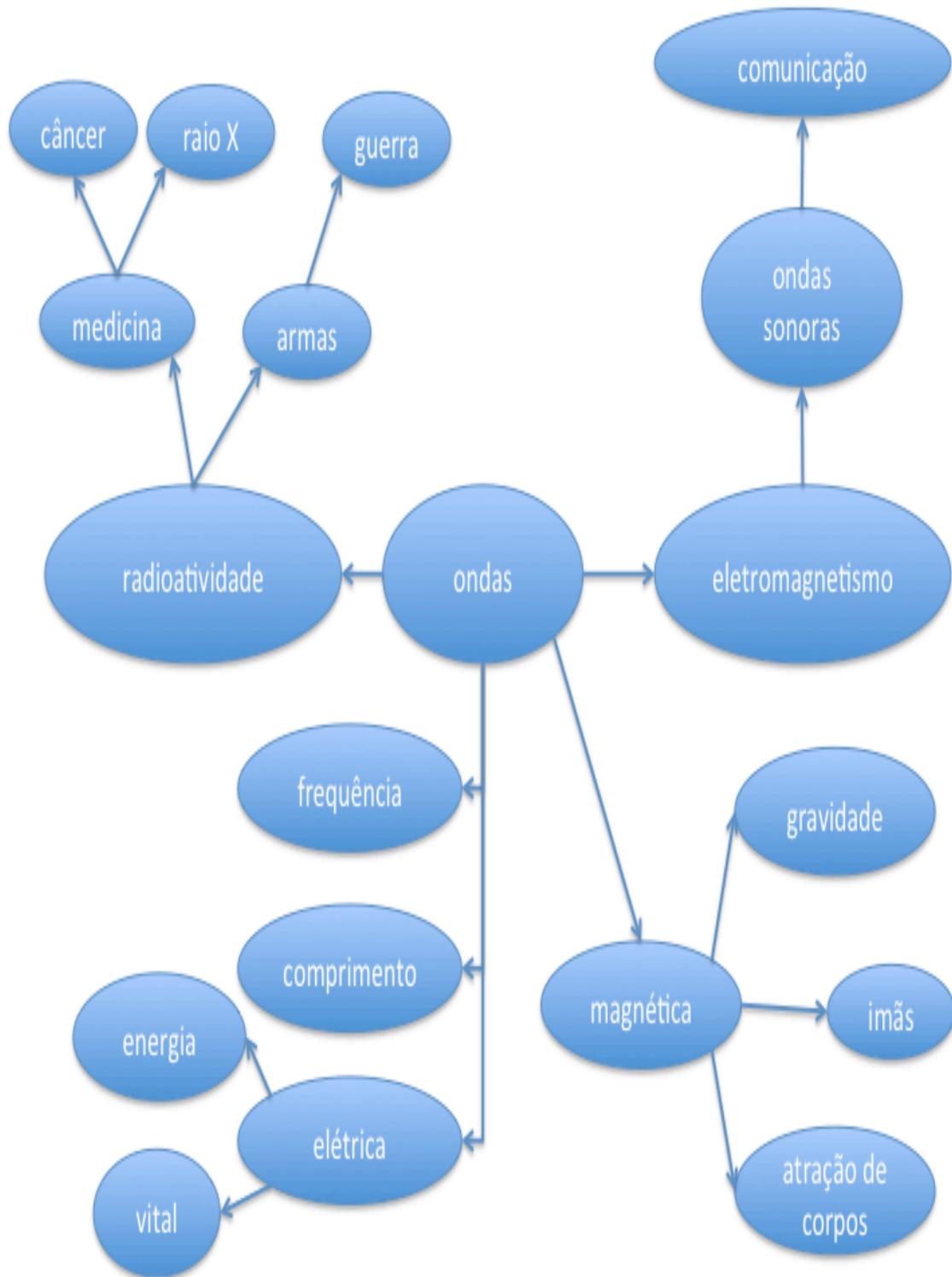


Figura 16 – Mapa do aluno A (4ª atividade)

O Aluno D elaborou dois mapas, um para cada atividade, bem articulados. Eles chegam, em nossa opinião, a ser complementares, pois, enquanto o primeiro traz classificações e fenômenos, o segundo evidencia relações entre as variáveis estudadas que caracterizam as ondas:

Mapa 1 – Aluno D

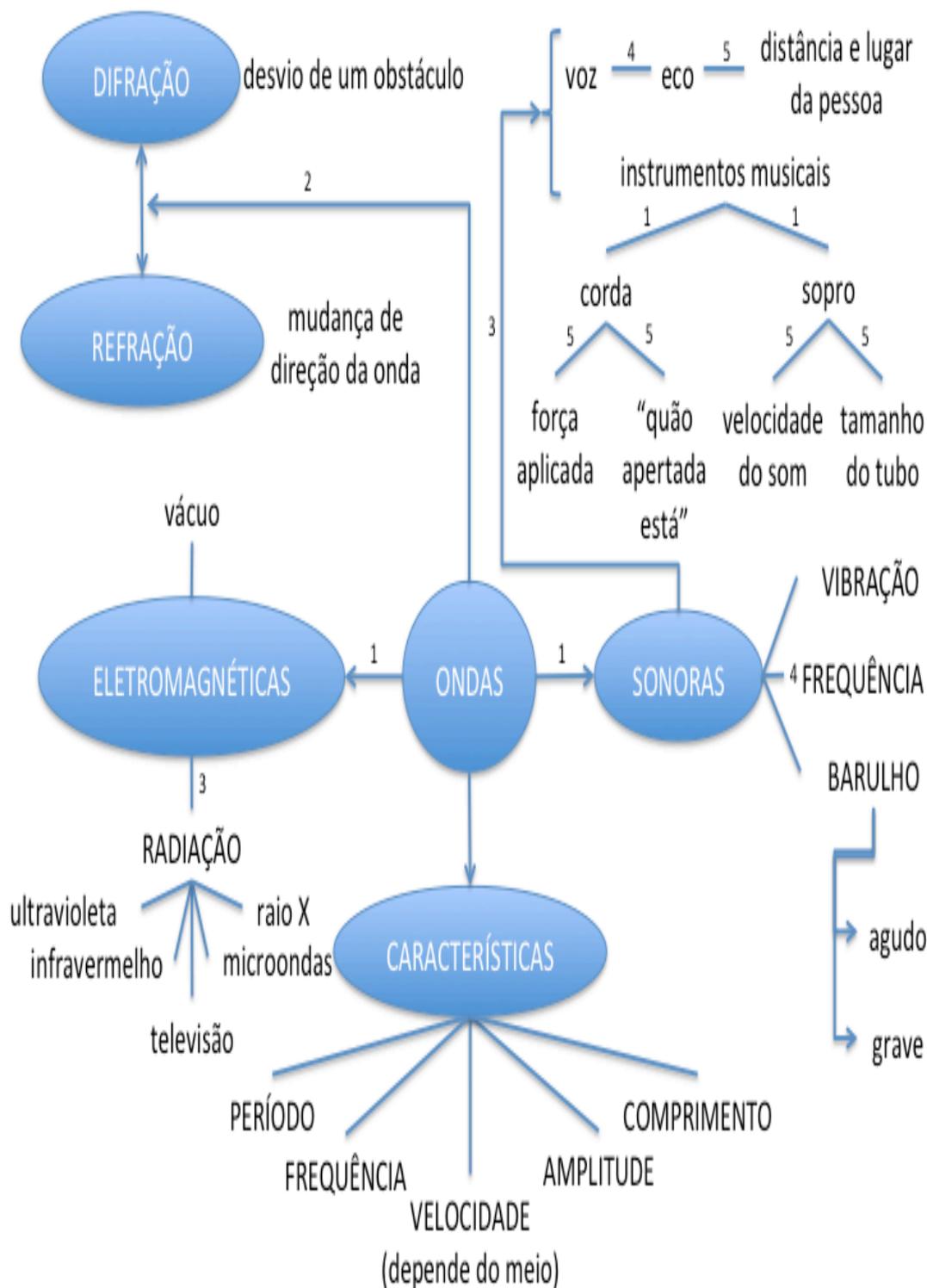


Figura 17 – Mapa do aluno D (1ª atividade)

1: podem ser; 2: sofrem; 3: são; 4: produz; 5: dependem.

Mapa 2 – Aluno D

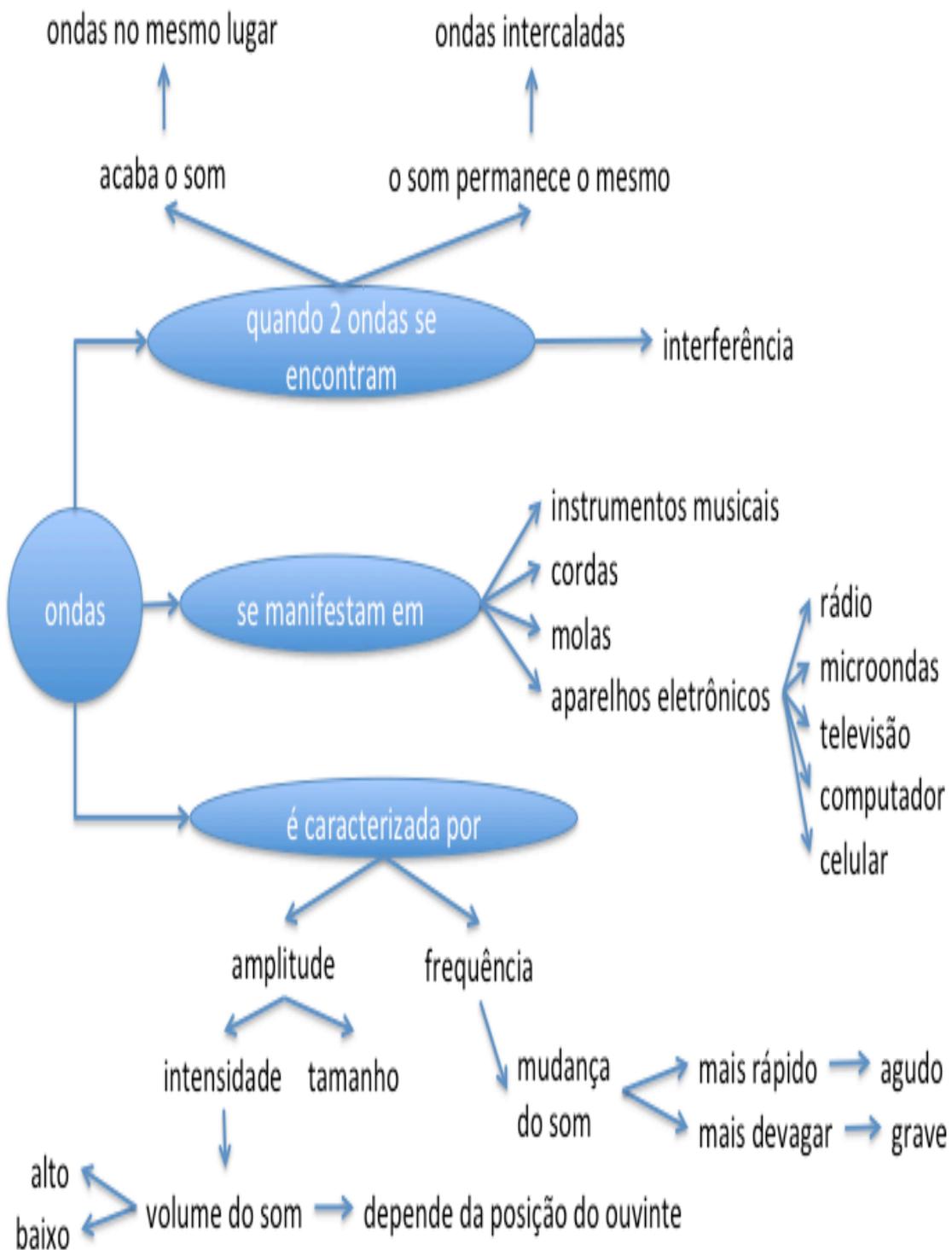


Figura 18 – Mapa do aluno D (4ª atividade)

Os Alunos B, C e F mostraram a presença de uma relação quantitativa entre as grandezas conceituais; aluno F também mostrou ganho considerável na quantidade e qualidade das relações; aluno C visivelmente optou, na segunda construção, por um mapa de fato, pois apresentou relações entre conceitos ao invés de definições de conceitos como tinha feito no primeiro:

Mapa 1 – Aluno B

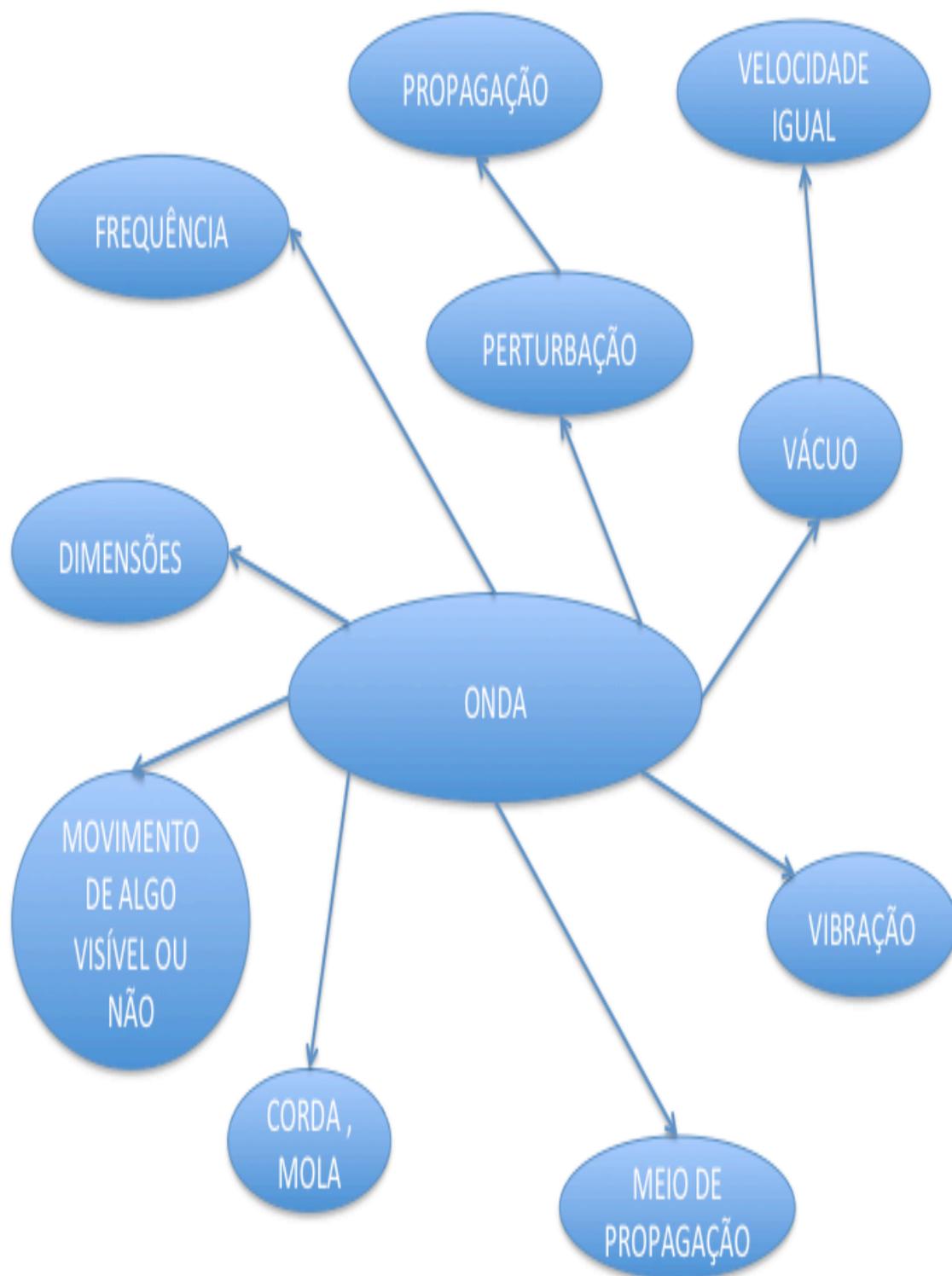


Figura 19 – Mapa do aluno B (1ª atividade)

Mapa 2 - Aluno B

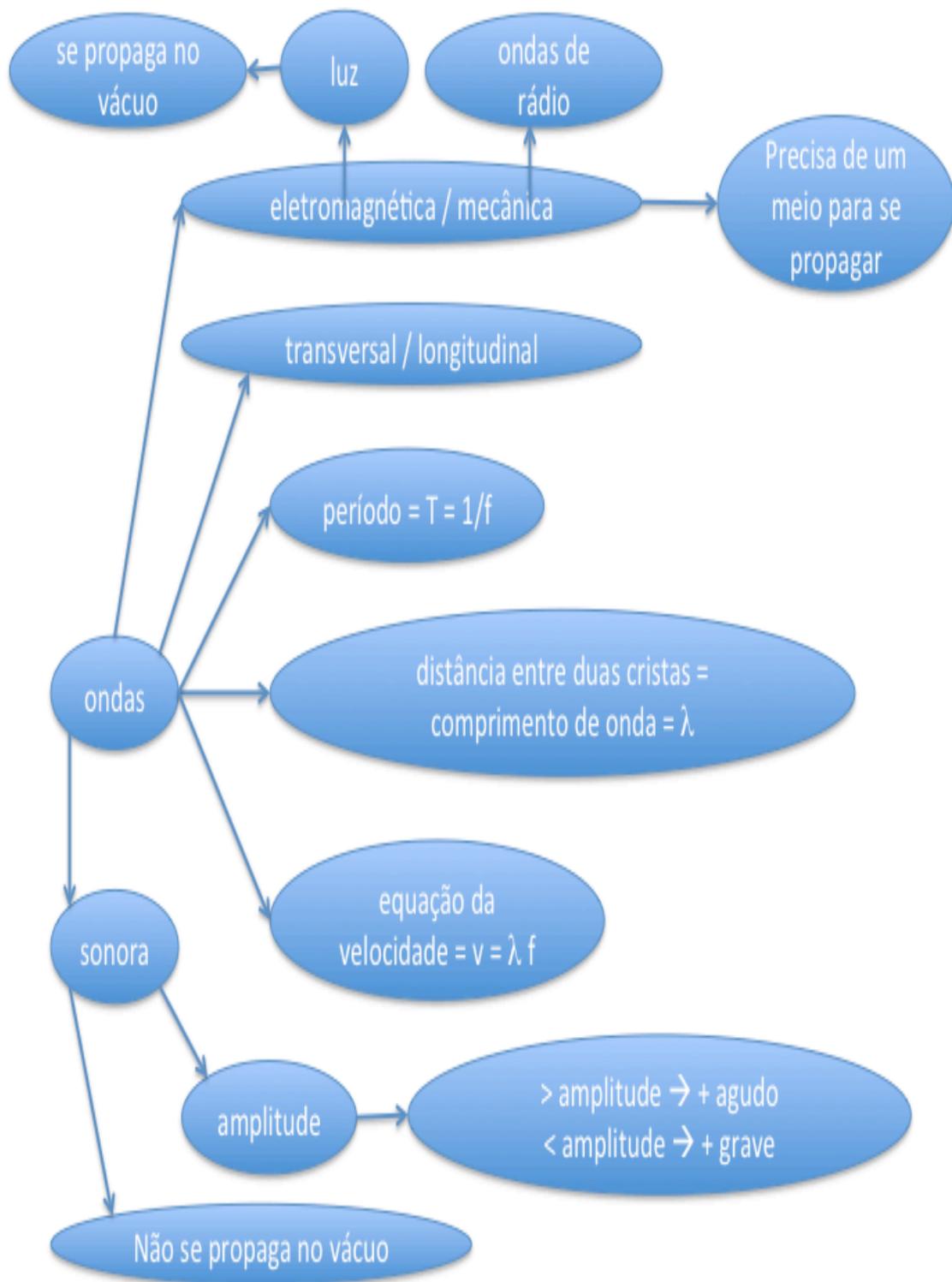


Figura 20 – Mapa do aluno B (4ª atividade)

Mapa 1 – Aluno C

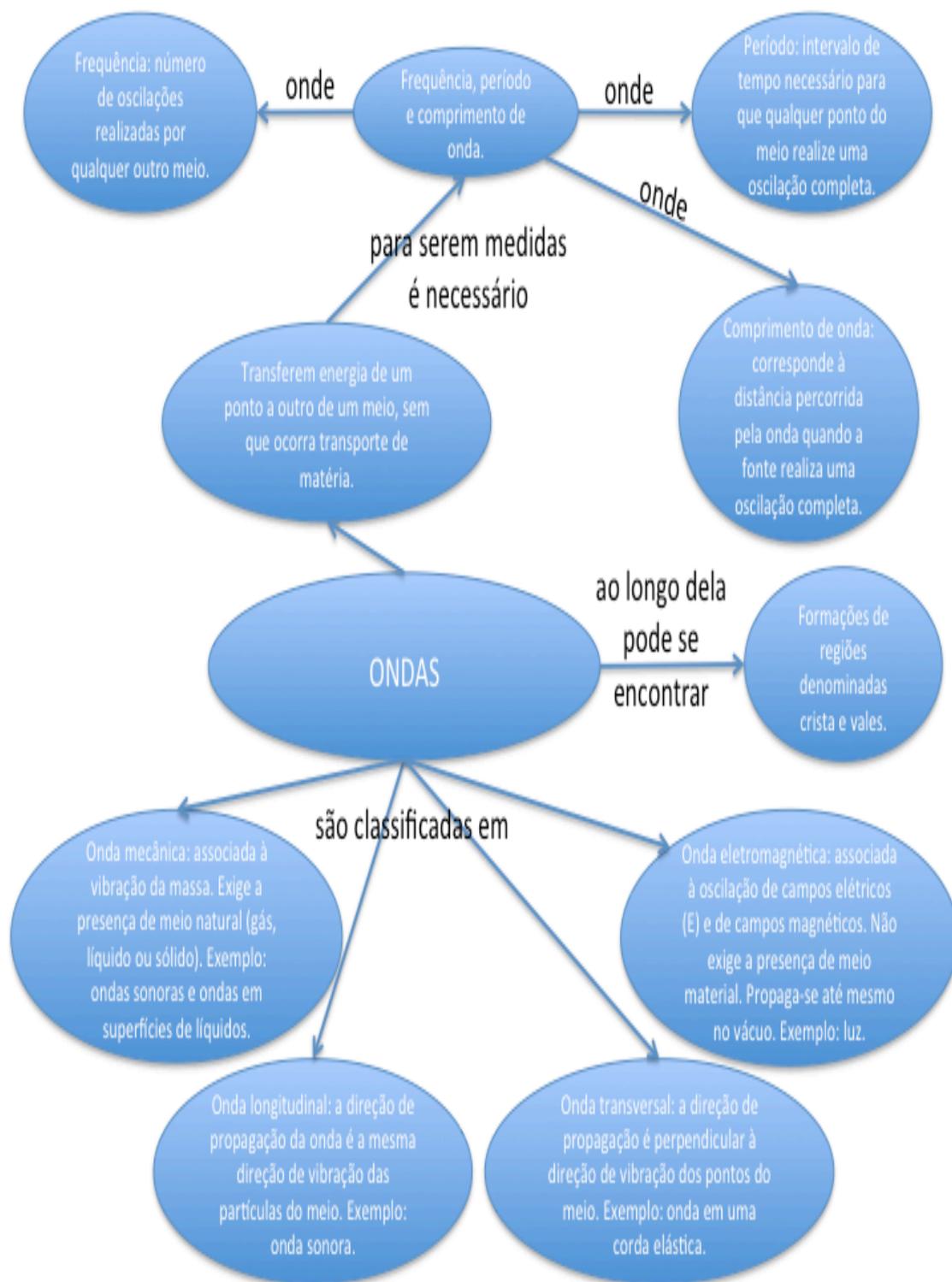


Figura 21 – Mapa do aluno C (1ª atividade)

Mapa 2 – Aluno C

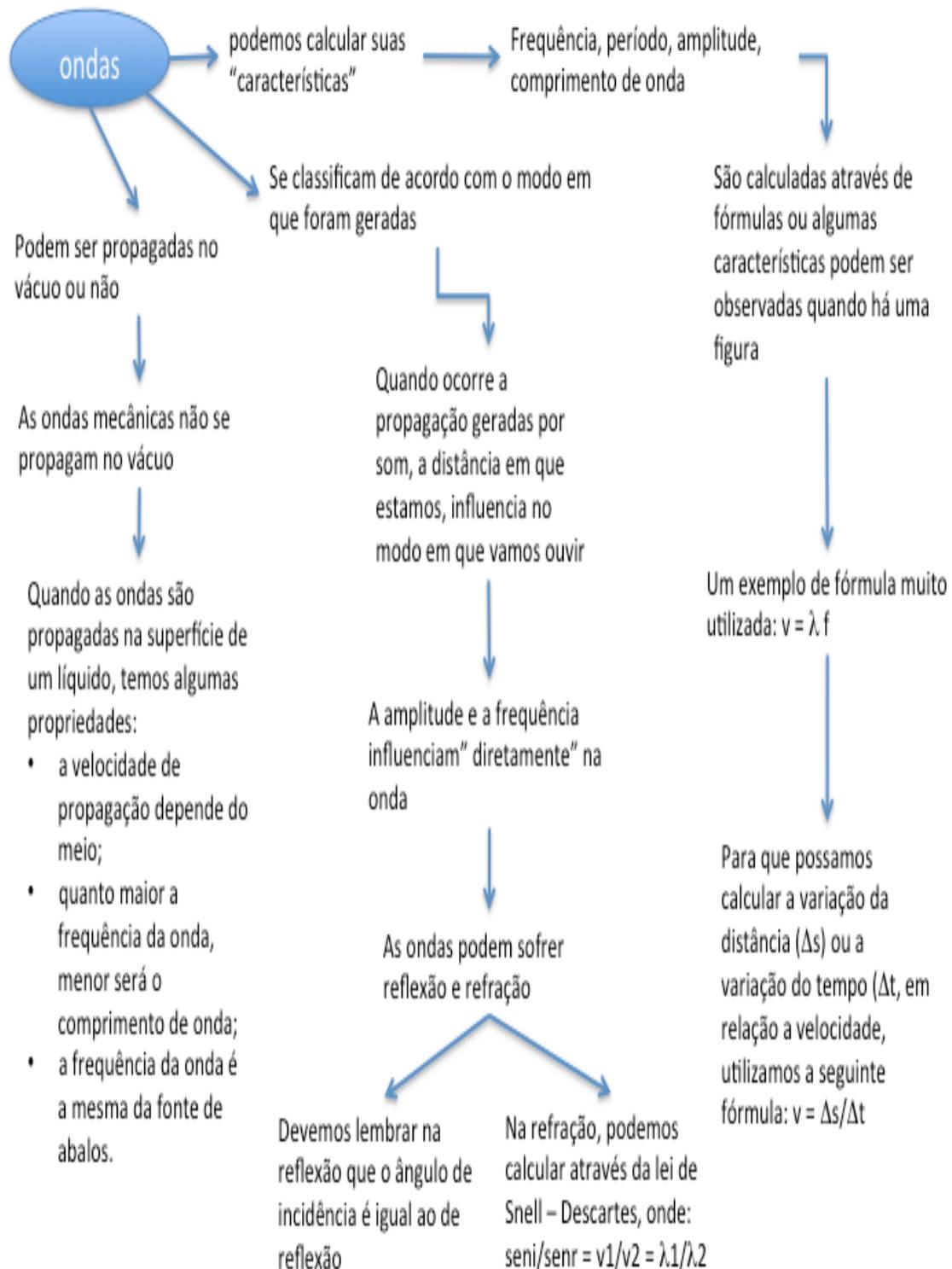


Figura 22 – Mapa do aluno C (4ª atividade)

Mapa 1 – Aluno F



Figura 23 – Mapa do aluno F (1ª atividade)

Mapa 2 – Aluno F

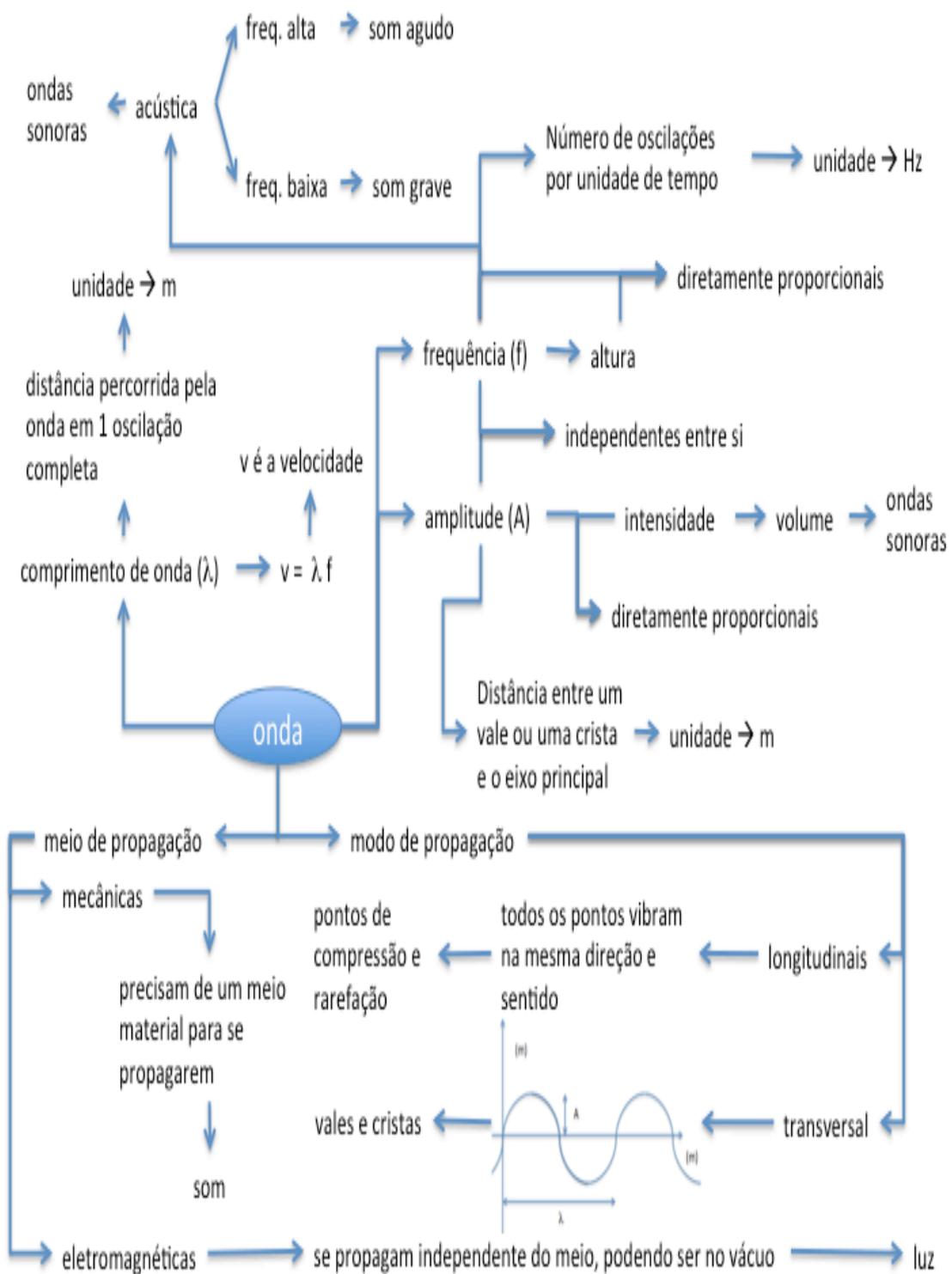


Figura 24 – Mapa do aluno F (4ª atividade)

Esses avanços, percebidos na análise dos mapas inicial e posterior, revelam as contribuições da sequência didática no desenvolvimento, modificação e formação dos subsunçores que, como descrito no capítulo 2, são estruturas fundamentais para aprendizagem, de acordo com a teoria de Ausubel. Além disso, é possível notar, na imensa maioria dos mapas construídos, a presença da equação fundamental da ondulatória ($v = \lambda f$) evidenciando que os objetivos preconizados pela instituição de ensino (oferecer aos alunos o domínio de símbolos matemáticos descritores de fenômenos, sendo capazes de manipulá-los em situações problema) foram também alcançados.

5.2 Conclusões

A generalização de resultados em pesquisas de natureza qualitativa pode ser questionada, porém algumas conclusões, que decorrem dos resultados acima apontados, podem ser feitas sem prejuízos significativos. De fato, em relação a essas conclusões, acreditamos que elas possam contribuir significativamente com a melhoria da qualidade do ensino de física, pois, numa primeira instância, já trazem mudanças substanciais para a minha prática como professor; e poderão, ainda, contribuir para tantos outros que optarem pela apropriação, ressignificação e aplicação deste trabalho. Para conduzir e organizar essa parte, optamos por concentrar nossas análises em três grandes nichos: aula, aluno e professor, embora tenhamos clareza que esses limites são tênues e não são estanques, dada a natureza dinâmica desse fenômeno educacional que envolve de forma múltipla esses grupos, uma ou mais análises poderiam pertencer a outro grupo sem grandes prejuízos.

5.2.1 Aula

Embora não seja uma conclusão inédita, pois muitos outros trabalhos desenvolvidos na área de ensino já sinalizaram essa necessidade, nossa intervenção em sala de aula aponta para a necessidade de subverter o espaço, isto é, repensar desde a disposição dos alunos, passando pelas estruturas e materiais utilizados como ferramentas de aprendizagem. A transformação, que foi por nós proposta, baseada na utilização de simulações computacionais, foi bastante completa, pois trouxe a

ferramenta em si para a utilização pelos alunos, que já é digna de destaque e os envolve de formas ainda não muito claras como aponta Wieman (2008, p.394) quando se refere à sua utilização em seus discursos e apresentações:

“era particularmente extraordinário [o fato de] que minhas audiências achavam as simulações atraentes e motivadoras do ponto de vista educacional, independentemente se a palestra era dada em um colóquio de um departamento de física ou numa sala de aula do Ensino Médio. Eu jamais vira um instrumento educacional capaz de atingir efetivamente níveis de formação tão diferenciados.”

Além disso, a completude da transformação também pode ser observada pela implementação do trabalho com essas características em duas turmas regulares de ensino médio. A utilização, nessas turmas, da simulação – objeto virtual de aprendizagem por nós escolhido como base para a elaboração dessa sequência didática – trouxe uma nova dinâmica ao processo, inserindo o uso de experimentos virtuais nas atividades de sala de aula. É preciso ressaltar novamente que a sequência foi implementada numa escola que não possui laboratório de ciências e que adota como material pedagógico um sistema apostilado que não considera relevante o uso de experimentos. Apesar da falta de estrutura, pois a escola também não dispõe de sala de informática, foi possível trabalhar com os alunos, em pequenos grupos, interagindo entre eles e com as simulações porque eles trouxeram para a sala de aula computadores pessoais. Em concordância com a Aprendizagem Significativa, é fundamental criar situações de aprendizagem que proporcionem aos alunos espaços para trocas e discussões, pois é na interação que a aprendizagem acontece.

Ainda que não possa ser considerada uma panaceia, pois os experimentos simulados não substituem os experimentos reais e não oferecem aos alunos os mesmos desafios, as simulações trazem outras possibilidades como controle de variáveis, por exemplo, auxiliando na elaboração de modelos conceituais, como aponta Wieman (2008, p. 406):

“Simulações computacionais são ferramentas promissoras que têm mostrado sua eficácia auxiliando estudantes em tópicos introdutórios de física.”

Dessa forma, potencializando a análise de fenômenos como meio para construção de conceitos e modelos mentais, é possível trazer para a sala de aula

situações que aproximem o aluno de situações reais e cotidianas atendendo uma necessidade apontada pelos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+). Em especial, nessa sequência, trabalhamos com o envio e recepção de informação por meio de ondas, usando as simulações para apresentar esse mundo sensível, porém invisível na grande maioria das situações:

“Para situar-se no mundo contemporâneo é necessário compreender os atuais meios de comunicação e informação, que têm em sua base a produção de imagens e sons, seus processos de captação, suas codificações e formas de registro e o restabelecimento de seus sinais nos aparelhos receptores.”(pag. 97)

Por fim, em relação à sala de aula, ainda é possível destacar como é necessário que o aluno transforme sua postura para adequar-se à nova realidade proposta. O “preço” que se paga por esse conjunto de mudanças estruturais é um maior envolvimento e uma responsabilidade compartilhada que será abordada no próximo tópico.

5.2.2 Alunos

A responsabilidade compartilhada entre alunos e professor, pela condução e contribuições durante as discussões, sem eximir o professor do seu papel anterior a esse momento, de planejador de todo o processo, traz o aluno para o centro do processo, permitindo que suas experiências anteriores se manifestem nas aulas, facilitando a construção de saberes significativos, isto é, de conhecimentos que possuem vínculo com aquilo que eles já sabem sobre determinado assunto. Quando os alunos possuem e utilizam esse espaço oferecido durante a aula para trocas, ficam evidentes as diferenças entre as experiências e a riqueza de relações que conseguem estabelecer sobre tópicos do tema abordado. Identificar o nível de desenvolvimento do sujeito e as estruturas de conhecimento que ele já possui é o primeiro passo para uma Aprendizagem Significativa, possibilitando adequar o melhor processo de aprendizagem. Essa classificação e identificação do nível de desenvolvimento, na nossa opinião, para esse projeto, é tão importante para a construção das atividades para os alunos como também para a tomada de consciência do professor, a fim de que ele

se torne autor da sua própria prática pedagógica. Curiosamente, o que seria um problema numa aula expositiva, pois a plateia passiva é composta por indivíduos com experiências diferentes, torna-se um diferencial positivo porque a diversidade contribui para trocas e discussões mais ricas, levando todos a níveis de organização conceitual superiores.

Esse aspecto é fundamental na construção de modelos mentais pelos alunos, pois eles são os principais responsáveis por esse processo. O aluno é considerado, como apontam os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN – Ciências), sujeito da aprendizagem:

“Dizer que o aluno é sujeito de sua aprendizagem significa afirmar que é dele o movimento de ressignificar o mundo, isto é, de construir explicações, mediado pela interação com o professor e outros estudantes e pelos instrumentos culturais próprios do conhecimento científico. Mas esse movimento não é espontâneo; é construído com a intervenção fundamental do professor.” (pag. 28)

Um exemplo claro, nas atividades construídas e utilizadas na sequência didática, aconteceu na atividade 3 – Ondas Sonoras quando foi solicitado aos alunos que descobrissem qual o valor da velocidade da onda sonora considerada pelo programador da simulação. Ela permite “observar” as compressões e rarefações do ar quando uma onda sonora se propaga, evidenciando o comprimento de onda em questão. Além disso, a simulação permite escolher a frequência da fonte utilizada, sem mencionar os recursos de medida como cronômetro, régua e os comandos básicos de iniciar, pausar e interromper uma simulação.

Essa atividade solicitou aos alunos que descobrissem qual a velocidade da onda sonora utilizada pelo programador da simulação. Para isso, eles deveriam propor e executar um método que permitisse encontrar a resposta. Essa atividade, como de fato aconteceu, não tinha uma única solução, isto é, seria possível realizá-la, pelo menos, de duas formas distintas. Inicialmente, alguns grupos começaram emitindo pulsos procurando medir deslocamentos em função de intervalos de tempo e, a partir da razão entre eles, obter a velocidade de propagação da onda. Esse método, embora correto, revelou-se bastante impreciso, pois dependia da sincronização entre

iniciar e interromper a simulação aliada ao acionamento do cronômetro. Apenas um grupo, em cada sala, pensou em utilizar a relação fundamental da ondulatória, que já havia sido discutido em aulas anteriores, como método para resolução do problema. Certamente mais preciso que o anterior, pois não dependia explicitamente do acionamento sincronizado entre cronômetro e simulação, parecia, ainda por cima, uma solução mais simples e mais elegante.

Quando eu percebi isso, no transcorrer da aula, pedi para que três grupos compartilhassem suas tentativas até então e entre elas, é óbvio, escolhi o grupo que tinha pensado na relação fundamental da ondulatória. Foi clara a reação dos grupos percebendo a relação entre as grandezas e a vantagem experimental desse método. Isso fez com que todos os grupos se apropriassem da relação. Ainda houve espaço para o questionamento se todos obteriam a mesma resposta. Sem dizer explicitamente, sugeri que cada grupo fizesse a sua conta e procurasse eliminar essa dúvida realizando a mesma medida para diferentes frequências permitidas na simulação.

Foi nítida, com o uso de simulações, a familiaridade dos alunos com os recursos tecnológicos. Como apontado por Riposati, Studart e Miranda (2011), a presente geração de alunos já está sendo formada em um ambiente totalmente permeado pela informática, de modo que essa tecnologia educacional tende a ser bem recebida. De fato, essa facilidade dos alunos com tais recursos pode ser de grande ajuda para que o professor conquiste a sua independência digital.

5.2.3 Professor

Essa grande aptidão inerente aos alunos, no que se refere ao uso de recursos computacionais, além de ser relevante para o sucesso de uma intervenção como essa, deve servir como motivação para que o professor desenvolva suas habilidades nesse campo, conquistando uma autonomia que ele próprio aponta relevante, mas ainda não possui o domínio que ele próprio considera adequado. Recentes pesquisas realizadas pelo Ibope e pela Oi Futuro, com mais de 5 mil

docentes da Secretaria Municipal do Rio de Janeiro, revelam que mais da metade deles (53%) admitiu ter dificuldades em lidar com tecnologia na escola. A pesquisa aponta que “todos os grupos de entrevistados concordam maciçamente (mais de 70%) que, quando há uso de tecnologias em sala de aula, o aluno se interessa mais em aprender.”

Outra conclusão dessa dissertação se refere a esse aspecto aparentemente antagônico sobre o uso de recursos digitais, pois, por um lado, os professores consideram o uso adequado e com um grande potencial, mas por outro, não se sentem aptos a utilizá-los. Nesse sentido, é preciso que o professor repense sua postura em sala de aula. Mesmo que pertença ao professor toda a responsabilidade sobre o que e como ensinar, isto é, é dele toda a responsabilidade em planejar cuidadosamente as situações de aprendizagem, em alguns pontos do processo é possível que o aluno participe ativamente determinando os rumos que serão seguidos em função das suas escolhas, que certamente são feitas, mesmo que de forma inconsciente, pelas suas experiências e história de vida. Dessa forma, o papel do professor como mediador do processo torna-se evidente e indispensável.

Essa insegurança natural do professor ao lançar-se em campos desconhecidos, como no caso do uso de recursos computacionais, é compreensível, porém, em função do ritmo de produção de conhecimento que a sociedade atual vive, ela pode ser minimizada. Saber todas as respostas, característica principal do bom professor do passado, deixou de ser relevante e perdeu espaço uma nova faceta do professor moderno que exige dele saber formular boas perguntas. Segundo de Méis (2000, p. 66), a atualização em relação a uma determinada área do conhecimento era relativamente simples, no século XVIII, em função do pequeno ritmo de produção científica comparada ao de hoje:

“Se um professor de Oxford desejasse naquela época [sec. XVIII] atualizar seus conhecimentos científicos e se dedicasse à leitura por oito horas diárias, descansando aos sábados e domingos, em um ano teria lido toda a seção de filosofia experimental”

Atualmente, no entanto, é humanamente impossível acompanhar tudo que se produz sobre um determinado assunto. De Méis (2000, p. 68), aponta:

“Se um professor universitário de bioquímica desejar atualizar seu conhecimento e for capaz de ler um artigo por hora durante 12 horas por dia, todos os dias do ano, incluindo sábado e domingo, no fim de um ano teria lido menos de 5% do que se publicou nas diversas revistas de bioquímica no período”

Entretanto, esse conhecimento disponível, mas que não se teve acesso, não desaparece. Graças à revolução tecnológica no compartilhamento e armazenamento de informações, temos hoje acesso a grande parte dessa produção científica humana pela rede mundial de computadores. Dessa forma, é preciso que o professor considere, mais do que nunca, que o aluno já traz conteúdo para a aula e que esta deva ser planejada para que novos saberes sejam construídos de forma significativa por eles.

Shulman (1986 *apud* Mizukami, 2004, p. 5), na segunda metade dos anos 80, aponta para a necessidade de considerar o conhecimento que o professor produz sobre a especificidade do seu objeto de trabalho, ao longo da sua carreira docente. O autor chama esse conjunto de saberes específicos do professor sobre sua disciplina de conhecimento pedagógico do conteúdo.

“Trata-se de conhecimento de importância fundamental em processos de aprendizagem da docência. É o único conhecimento pelo qual o professor pode estabelecer uma relação de protagonismo. É de sua autoria. É aprendido no exercício profissional, mas não prescinde dos outros tipos de conhecimentos que o professor aprende via cursos, programas, estudos de teorias”

Tão relevante quanto os conhecimentos do conteúdo curricular (da disciplina com a qual o professor trabalha) e os conhecimentos pedagógicos (sobre avaliação, aprendizagem, etc.) são os conhecimentos construídos ao longo da carreira do professor, por meio das suas percepções, reflexões, teorias pessoais, resolução de problemas, tomada de decisões, relações entre conceitos, construções de significados, capazes de diferenciar as práticas dos bons professores de uma determinada disciplina, em relação aos professores usuais.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O produto derivado desse mestrado profissional, abordado nessa dissertação, consistiu na elaboração de uma sequência didática, aplicada em duas turmas de nível médio, de uma escola particular, que usa um sistema de ensino apostilado, que não tem laboratório de ciências e computadores, baseada no protagonismo do aluno, subvertendo a ordem estabelecida no que se refere aos papéis dos alunos e professor. Em função de todas essas características, o projeto se desenvolveu como foi descrito e os resultados dele decorrentes foram, de forma sintética, resgatar o aluno para uma posição de protagonismo que torna os processos mais envolventes, dignos e produtivos. Para isso, no entanto, é preciso ressaltar a importância do papel do professor que também se transforma, pois, embora seja responsável pelo planejamento de todo o processo, pode e deve lançar-se rumo ao desconhecido permitindo aos alunos fazerem escolhas, intervenções, propostas que podem “levar a aula” para os assuntos que mais interessam, sem que seja perdido o norte do que o professor planejou abordar.

Penso que essas alterações de papéis dos alunos e professor corresponda ao resultado mais efetivo de todo o trabalho. Na minha prática pedagógica, depois desse projeto, houve uma mudança significativa de preparação das aulas: para todas elas, mesmo naquelas completamente expositivas nas turmas pré-vestibular, por exemplo, sempre procuro um OA, relacionado ao tema, para que os alunos possam conhecer e interagir antes da aula ou usá-lo, após a aula, para aprender mais e estabelecer novas relações entre os conceitos. Normalmente, a plataforma usada para isso são os grupos formados no *Facebook*, que toda turma (com a qual eu trabalho) possui. Essa prática de utilizar os meios de comunicação disponíveis nas redes sociais nas quais os alunos já estão inseridos, começou, nas unidades escolares, com o desenvolvimento desse projeto e se transformou numa prática efetiva do colégio, pois todas as turmas passaram a contar com grupos exclusivos no *Facebook*, do qual fazem parte professores e alunos de cada turma. Nesse espaço, ocorrem trocas que se referem ao contexto escolar: recados, alterações de calendário, divulgação de

programações para avaliações e outras atividades, materiais de apoio como apresentações, dicas de leitura e referências de *sites*, animações e simulações que contribuem para o processo de ensino – aprendizagem. Nela inclusive, recebo frequentemente (e estímulo os alunos para que isso aconteça) dicas de vídeos, fotos, animações, simulações relacionados aos conteúdos de física estudados, que são compartilhadas pelos alunos comigo e com todo grupo. Sendo assim, a página do *Facebook*, que começou como mural de recados para a realização desse mestrado profissional, tornou-se prática pedagógica consolidada entre alunos e professores desse colégio.

Entretanto, aquela sensação confortável de que o conteúdo foi dado aos alunos, quando a aula é expositiva com seus limites e contornos rigidamente definidos, se perde. Isso gera uma insegurança porque se afasta do modelo tradicional no qual o professor ensina um conteúdo, e, logo em seguida, resolve problemas. Porém, cede espaço a uma sensação de que cada aluno aprendeu aquilo que era capaz de aprender, em função das suas histórias, experiências e saberes anteriores, fazendo com que alguns conceitos fossem mais significativos enquanto que outros foram aprendidos de forma mais mecânica. Essas são as consequências (boas ou ruins) do projeto ser desenvolvido numa escola real, com todos os seus condicionantes externos (falta de laboratórios de informática ou de ciências) e internos (mudanças de concepções estabelecidas sobre como deve ser uma aula ideal, que são compartilhadas por professor e alunos).

Se por um lado, essa sensação de falta de controle sobre o que os alunos aprenderam acontece durante um projeto como esse que foi desenvolvido nesse mestrado profissional, quais são as garantias de aprendizagem quando a aula é conduzida de forma mais tradicional, com características expositivas? É fato que as sensações de prazer, tanto por parte do professor quanto dos alunos, pertenceram de forma sistemática aos processos, métodos e relacionamentos, durante a realização das atividades e puderam ser identificadas no envolvimento dos alunos e no tempo psicológico da aula que transcorria “mais rápido que o normal”. Além disso, outros indicadores, embora subjetivos e intangíveis, são, considerados por nós, como relevantes e atestam a qualidade desse trabalho, revelando caminhos que podem ser

trilhados para a transformação dos processos, papéis e relações presentes na sala de aula. Esses indicadores estão listados a seguir acompanhados de pequenos comentários que permite, na nossa opinião, compreender muitas dimensões desse trabalho:

- viabilidade – todo projeto foi desenvolvido e aplicado no tempo e no espaço de duas salas de aula reais, isto é, turmas regulares de uma escola da rede privada, com todas as suas dificuldades e particularidades;
- envolvimento – o uso de simulações computacionais, como era de se esperar em função de trabalhos anteriores a esse, trouxe um envolvimento dos alunos que se mostraram motivados a participar da aula, não só durante o uso efetivo do computador, mas também nas atividades que o antecediam ou dele decorriam;
- transformação – mesmo diante de toda a rigidez imposta pela realidade da sala de aula e pelos acordos (explícitos ou não) que regem os processos e reforçam a manutenção das coisas como elas são, o projeto encontrou espaço para deslocar o aluno para o centro do processo e elevar o papel do professor para autor e condutor das situações de aprendizagem, percebidos na mudança da prática do professor pós projeto e na postura proativa dos alunos sugerindo novos OA para toda turma;
- respeito ao processo de ensino – aprendizagem – a metodologia empregada (preliminar, interação com o OA e desfecho) trouxe consistência ao processo de aprendizagem, pois permitiu, entre tantas outras possibilidades, ao aluno o tempo ideal de maturação das ideias e construção de conceitos de forma significativa, pois possibilitou interação do aluno com suas concepções prévias, com a simulação e com seus pares;
- criatividade – ela pode ser exercitada nas atividades menos dirigidas, em que os alunos propunham e executavam um método para responder a uma pergunta, assim como quando controlavam variáveis e as modificavam para testar suas

hipóteses ou simplesmente “para ver o que acontece”;

- significado – da forma como a Aprendizagem Significativa preconiza, é possível ensinar aos alunos a partir do que eles já sabem, isto é, só poderão ser aprendidos, de forma significativa, aqueles conceitos que possam ser ancorados em saberes que já existem na rede de relações que o aluno possui. Por isso, é fundamental criar oportunidades de que esses conceitos prévios sejam trazidos para dentro da sala de aula, como fizemos durante a realização das atividades da sequência didática.

Por fim, pensamos que outros aspectos poderiam ser analisados ou contemplados nesse trabalho, pois sempre são inúmeras as possíveis relações, uma vez que elas dependem também das experiências e história de vida de quem tem contato com ele. Esperamos que os resultados contribuam ratificando comportamentos semelhantes de professores que também baseiam suas práticas nesses pressupostos, mas também possam provocar outros professores, convidando-os para a reflexão de suas práticas como foi possível para nós, como educadores que investigam seus métodos, processos e escolhas, pois elas sempre são e sempre serão responsabilidade do professor que compreende seu papel como autor da sua aula e que a inventa, usando como seus aliados as pesquisas, a reflexão e a intuição.

REFERÊNCIAS

ARANTES, A. R.; MIRANDA, M. S.; STUDART, N. **Objetos de aprendizagem no ensino de física**. Física na Escola, v. 11, n. 1, p. 2010.

BRASIL, BRASÍLIA. Ministério da Educação. Secretariade Educação Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais : Ciências Naturais / Secretaria de Educação Fundamental**. Brasília, 1998. 138 p. Disponível em <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencias.pdf>> acessado em: 12 de novembro de 2010.

BRASIL, BRASÍLIA. Ministério da Educação. Secretariade Educação Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais + : Ensino Médio / Orientações complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais**. Brasília, 2002. 199 p. Disponível em <http://www.sbfisica.org.br/arquivos/PCN_CNMT.pdf> acessado em 13 de novembro de 2010.

DE MÉIS, L. **Ciência, educação e conflito humano-tecnológico**. 2ª edição rev. e ampl. São Paulo. Editora Senac, 2002, 145 p.

DORNELES, P. F. T. **Integração entre as Atividades Computacionais e Experimentais como Recurso Instrucional no Ensino de Eletromagnetismo em Física Geral**. 2010. 345 p. (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

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**. Bauru. vol.18, n.1, pp. 99-122. 2012.

ISODA, M. ARCAVI, A. Palestras. In: I Workshop Internacional sobre Objetos de Aprendizagem no Ensino de Ciências e Matemática (WIOA), 2010. São Carlos, São Paulo.

MIZUKAMI, M. da G. N. Aprendizagem da docência: algumas contribuições de L. S. Shulman. **Revista do Centro de Educação**. vol. 29, n. 2, 2004.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. São Paulo. 1ª Edição. Editora Centauro, 2010. 80 p.

NASCIMENTO, A. C. A. Objetos de aprendizagem: entre a promessa e a realidade. In: PRATA, C. L.;NASCIMENTO, A. C. A. *Objetos de Aprendizagem: Uma Proposta de Recurso Pedagógico*. Brasília: MEC-SEED, 2007, p. 135-145.

NASH, S.S. *Interdisciplinary Journal of Knowledge and Learning Objects* 1, 217 (2005).

NOVAK, J. D. *Uma teoria de educação*. Editora Pioneira. São Paulo (1983). Cap. III/pag.47-73.

PERKINS, K. LOEBLEIN, T. **Criar Atividades PhET com Estratégias de Indagação Orientada ("Guided Inquiry Strategies")**. Disponível em <https://phet.colorado.edu/pt_BR/for-teachers/activity-guide>Acessado em 08 de fevereiro de 2013.

SPINELLI, W. **Os objetos virtuais de aprendizagem: ação, criação e conhecimento** Disponível em www.lapef.fe.usp.br/rived/textoscomplementares/textoImodulo5.pdf. Acessado em 23/05/2013.

TAVARES, R. et al. Objetos de aprendizagem: uma proposta de avaliação de aprendizagem significativa. In:PRATA, C. L.; NASCIMENTO, A. C. A. *Objetos de Aprendizagem: Uma Proposta de Recurso Pedagógico*. Brasília: MEC-SEED, 2007, p. 123-135.

WIEMAN, C. E. PERKINS, K. K. and ADAMS, W.K. Oersted Medal Lecture 2007: Interactive simulations for teaching physics: what Works, what doesn't, and why. **Am. J. Phys.** 76, 393 (2008).

WIEMAN, C. E. et al. **The Physics Teacher** 48, 225 (2010).

WIEMAN, C. E. et al. **Journal of Interactive Learning Research** 19, 397 (2008); 19, 551 (2008).

WIEMAN, C. E. et al. **Developing and researching PhET simulations for teaching quantum mechanics**Am. J. Phys., Vol. 76, Nos. 4 & 5, April/May 2008.

WILEY, D. A. **The Instructional use of Learning Objects** (2000). Disponível em www.reusability.org/read/chapters/wiley.doc. Tradução em português está disponível em <http://penta3.ufrgs.br/objetosaprendizagem/>.

APÊNDICE – Sequência Didática

Caro professor, se essa sequência didática conseguiu encontrá-lo é porque temos em comum uma inquietação pedagógica que busca incessantemente transformar a sala de aula, tornando as situações de aprendizagem com os alunos mais produtivas, dinâmicas e prazerosas.

Antes de exercitar o “poder da tesoura”, amplamente recomendado na apropriação de novas práticas pedagógicas, é preciso que fique claro os pressupostos teórico-metodológicos que sustentam essas atividades. Conhecê-los possibilitará a você realizar escolhas e fazer adaptações cada vez mais acertadas e adequadas.

A Aprendizagem Significativa, usada como referencial neste trabalho, nas palavras de Novak, “é um processo no qual uma nova informação é relacionada a um aspecto relevante, já existente, da estrutura de conhecimento de um indivíduo”. A fim de colocá-la em prática, durante a aplicação da sequência didática, é preciso estabelecer os papéis de professor e alunos, trazendo estes para o centro do processo, atuando como protagonistas nas atividades e levando aquele para a posição de orientador das ações, condutor dos trabalhos.

As atividades foram construídas para três momentos distintos: preliminar, interação e desfecho; organizadas em oito aulas duplas (90 min) incluindo avaliação final. Entretanto, nada impede o professor de rearranjá-las da forma que considerar conveniente. Espero que elas contribuam com o seu trabalho e agradeço, desde já, o envio de dúvidas, críticas e sugestões.

Bom trabalho.

Márcio S. Miranda¹⁷

¹⁷ marcio@nipec.com.br

AULAS 1 e 2 - ATIVIDADE 1 - CONCEPÇÕES INICIAIS

Aluno (a): _____ nº ____ 2ª SÉRIE

Atividade Experimental

Começamos nesse momento o estudo dos fenômenos ondulatórios. Essa primeira atividade pertence a uma sequência didática composta por 16 aulas. Ela tem como objetivo a construção de um mapa de conceitos que são recursos esquemáticos simples para organizar ideias e representar um conjunto de significados conceituais sobre determinado tema.

Parte 1 – Leia a definição de mapa conceitual transcrita abaixo.

[mapas conceituais] “são diagramas indicando relação entre conceitos, ou entre palavras que usamos para representar conceitos.”(...) não devem ser confundidos com mapas mentais que são associacionistas (...) incluem coisas que não são conceitos e não estão organizados hierarquicamente.” (Moreira, M. A. *Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa*. Editora Centauro. Pag. 11 (2010)).

se um indivíduo que faz um mapa (...) une dois conceitos, através de uma linha, ele deve ser capaz de explicar o significado da relação que vê entre esses conceitos. (...) o uso de palavras-chave sobre as linha conectando conceitos é importante...” (Moreira, M. A. *Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa*. Editora Centauro. Pag. 15 (2010)).

Parte 2 – Construa agora um mapa de conceitos sobre Ondulatória. Procure, no seu repertório pessoal, conceitos que se relacionam com ondas e represente de forma esquemática. Sendo assim, você deve escrever, portanto, conceitos que se relacionam com ondas colocando-os em figuras geométricas de sua escolha. Ligue os conceitos por linhas e explicita a relação que você observa e destaca. Use o verso da folha.

AULAS 3 e 4 - ATIVIDADE 2 - ONDAS DE RÁDIO

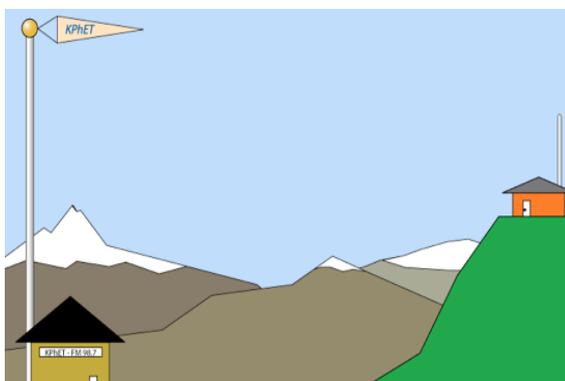
Aluno (a): _____ nº ____ 2ª SÉRIE

Atividade Experimental

PRELIMINAR

1. As ondas estão presentes em diversas situações cotidianas. Todas envolvendo a emissão e a recepção de um sinal. Você já presenciou uma caixa de som (do computador por exemplo) “adivinhandando” que o celular vai tocar?
 - a. Descreva essa situação. Como isso acontece?
 - b. Explique sua resposta com texto e/ou figuras. Explícite quais elementos são fundamentais na sua explicação, isto é, destaque os elementos envolvidos como antenas, aparelhos, etc, evidenciando qual o papel que cada um desempenha. Não se esqueça de desenhar como a onda se propaga.

2. Quando sintonizamos uma emissora de rádio, recebemos as informações por ela veiculada (músicas, notícias, entre outros).
 - a. Como o sinal se propaga da emissora para o seu aparelho?
 - b. Veja a figura abaixo na qual estão representadas, em primeiro plano, a estação emissora kPhET (e sua proeminente antena) e uma residência que sintoniza a estação (obviamente usando sua antena que está em destaque).



Represente na figura a onda enviada pela emissora que está sendo captada pela residência. Descreva o processo fazendo anotações na própria figura, se achar necessário.

INTERAÇÃO

1. Abra a simulação Ondas de rádio (v. 1.09) disponível em <http://phet.colorado.edu/en/simulation/radio-waves> e “brinque” um pouco com ela até se familiarizar com os comandos e as possibilidades.
2. Qual a relação entre o sinal enviado e a movimentação dos elétrons que podem ser observados nas antenas de emissão e recepção?
3. Quando indicamos no painel de controle ‘Oscilar’ em movimento de transmissão, podemos aferir intensidades distintas para frequência e amplitude.

Quais as relações entre essas grandezas e a onda que representa o sinal enviado? Se achar necessário, faça figuras.

4. Quando indicamos no painel de controle ‘Oscilar’ em movimento de transmissão e ‘curva com vetores’ em tipo de campo de exibição, temos duas opções em campo sensível: força de elétrons ou campo elétrico. Descreva a movimentação do elétron da antena de transmissão em função dos vetores representados de força e campo elétrico.

DESFECHO

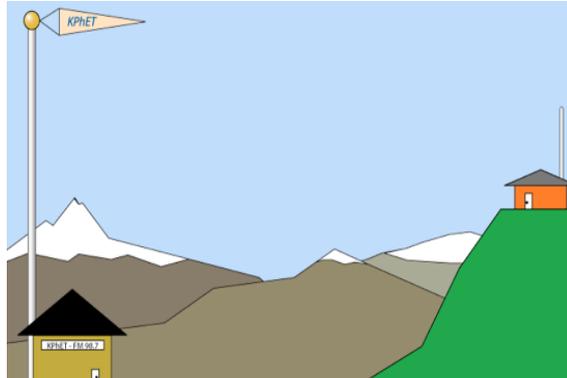
Refaça as questões iniciais e procure perceber se existe alguma ideia diferente que fará parte da sua resposta.

1. As ondas estão presentes em diversas situações cotidianas. Todas envolvendo a emissão e a recepção de um sinal. Você já presenciou uma caixa de som (do computador por exemplo) “adivinhandando” que o celular vai tocar?

- a. Descreva essa situação. Como isso acontece?
- b. Explique sua resposta com texto e/ou figuras. Explícite quais elementos são fundamentais na sua explicação, isto é, destaque os elementos envolvidos como antenas, aparelhos, etc, evidenciando qual o papel que cada um desempenha. Não se esqueça de desenhar como a onda se propaga.

2. Quando sintonizamos uma emissora de rádio, recebemos as informações por ela veiculada (músicas, notícias, entre outros).

- a. Como o sinal se propaga da emissora para o seu aparelho?
- b. Veja a figura abaixo na qual estão representadas, em primeiro plano, a estação emissora “kPhET” (e sua proeminente antena) e uma residência que sintoniza a estação (obviamente usando sua antena que está em destaque).



Represente na figura a onda enviada pela emissora que está sendo captada pela residência. Descreva o processo fazendo anotações na própria figura, se achar necessário.

AULAS 5 e 6 - AMPLIANDO O REPERTÓRIO**Aluno (a): _____ nº ____ 2ª SÉRIE****Atividade Experimental**

Agora é hora de pensarmos no que fizemos e escrevermos o que aprendemos.

AULAS 7 e 8 - ATIVIDADE 3 - ONDAS SONORAS

Aluno (a): _____ nº ____ 2ª SÉRIE

Atividade Experimental

PRELIMINAR

1. Depois de escolhermos qual música será ouvida, basta acertar o volume desejado para que a diversão seja completa. Qual o significado da palavra volume nessa situação?

2. Uma onda pode ser caracterizada pela sua frequência ou pela sua amplitude. Explique qual das variáveis (frequência, amplitude) podemos associar ao volume do som?

3. (PUCRS 2008 - adaptado) O eco é o fenômeno que ocorre quando um som emitido e seu reflexo em um anteparo são percebidos por uma pessoa com um intervalo de tempo que permite ao cérebro distingui-los como sons diferentes. Para que se perceba o eco de um som no ar, no qual a velocidade de propagação é de 340 m/s, é necessário que haja uma distância de 17,0 m entre a fonte e o anteparo.

a. Qual o intervalo de tempo entre o sinal enviado e o sinal percebido por reflexão?

b. Ao compararmos a onda incidente com a onda refletida, o que percebemos de diferente entre elas? Como essas diferenças alteram comprimento de onda, frequência, amplitude e velocidade de propagação?

4. (UFMG 2010) Na Figura I, estão representados os pulsos P e Q, que estão se propagando em uma corda e se aproximam um do outro com velocidades de mesmo módulo. Na Figura II, está representado o pulso P, em um instante t , posterior, caso ele estivesse se propagando sozinho.

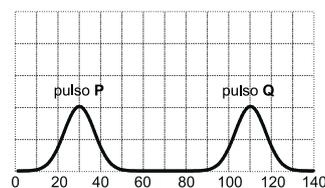


Figura I

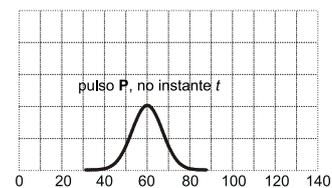
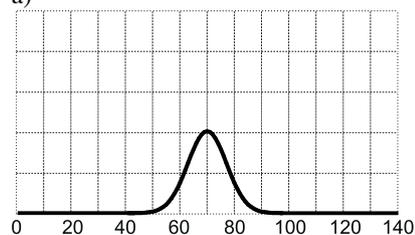
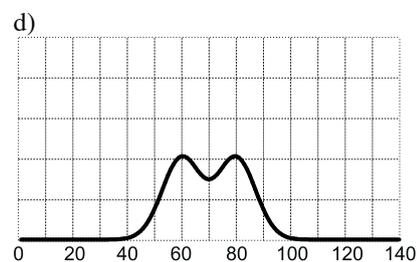
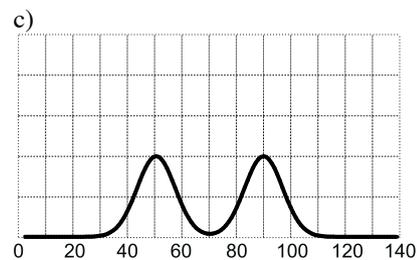
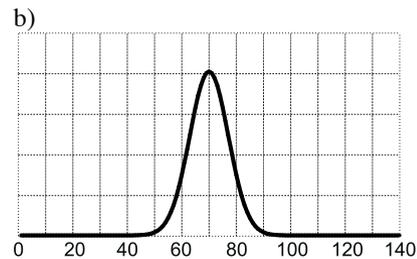


Figura II

A partir da análise dessas informações, assinale a alternativa em que a forma da corda no instante t está **CORRETAMENTE** representada.

a)





INTERAÇÃO

Abra a simulação SOUND disponível em <http://phet.colorado.edu/en/simulation/sound> e “brinque” um pouco com ela até se familiarizar com os comandos e as possibilidades.

1. Selecione a primeira aba *listen to a single source* e resolva as questões a seguir:

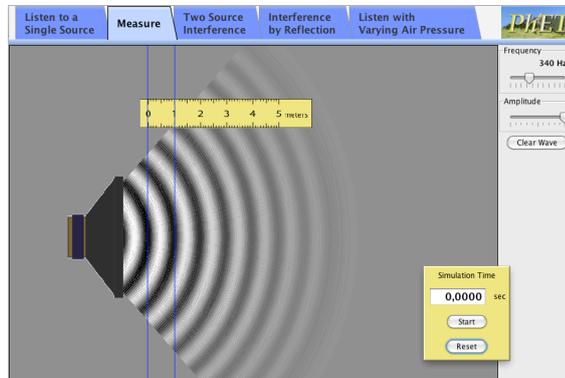


1.1: estabeleça uma relação qualitativa entre frequência da fonte e frequência percebida em função da posição do observador. Escolha uma amplitude e escreva o que acontece com as frequências (aumentam, diminuem ou permanecem constante) a medida que alteramos a posição do observador.

1.2: estabeleça uma relação qualitativa entre frequência da fonte e frequência percebida em função da amplitude do sinal. Escolha uma posição e

escreva o que acontece com as frequências (aumentam, diminuem ou permanecem constante) a medida que alteramos a posição do observador.

2. Selecione a segunda aba *measure* e resolva as questões a seguir:

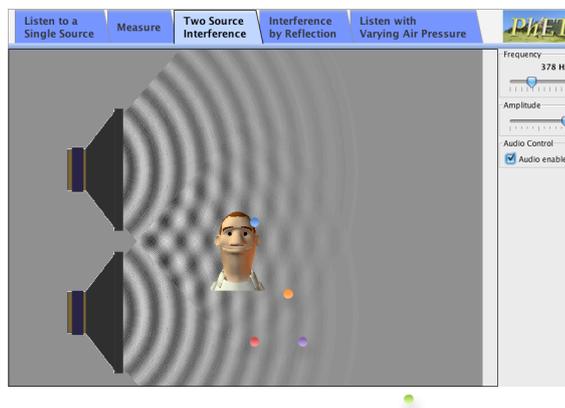


2.1 Proponha um método para calcular a velocidade do som no ar a partir das informações e recursos disponíveis pela simulação. Explique as escolhas que você fez para os atributos das variáveis disponíveis. Mostre também suas contas e como você chegou na resposta.

2.2 Construa uma tabela de comprimento de onda em função da frequência. Isto é, escolha um valor para a frequência e calcule o comprimento de onda. Vá repetindo o processo até obter uma tabela com seis pares de valores.

2.3 Construa uma tabela de comprimento de onda em função da amplitude. Isto é, escolha um valor para a amplitude e calcule o comprimento de onda. Vá repetindo o processo até obter uma tabela com seis pares de valores.

3. Selecione a aba *two source interference* e resolva as questões a seguir:



3.1 Descreva o sinal percebido em cada um dos pontos marcados na figura acima. Compare as intensidades detectadas.

3.2 Represente as ondas correspondentes a cada ponto numa mesma escala.

DESFECHO

1. A partir das respostas obtidas nas atividades 1.1 e 1.2, explique qual das variáveis (frequência, amplitude e posição) podemos associar ao volume do som?

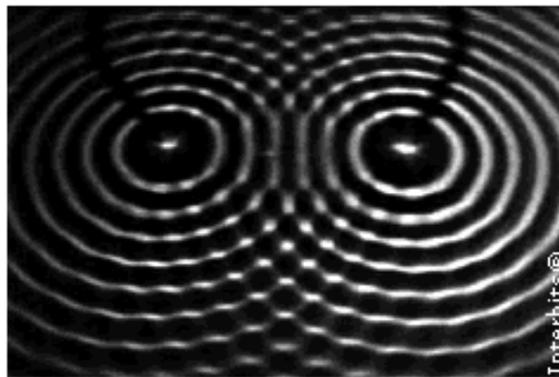
7 A partir da tabela obtida em 2.2, construa um gráfico de comprimento de onda em função da frequência.

8 A partir da tabela obtida em 2.3, construa um gráfico de comprimento de onda em função da amplitude.

9 Desenhe uma onda e identifique sua frequência e amplitude. A frequência está associada a uma qualidade do som chamada ALTURA. Quando um sinal possui frequência elevada, ele é denominado alto (agudo). Porém, quando possui pequena frequência, é denominado baixo (grave). Já a amplitude está associada a INTENSIDADE. Quando um sinal possui amplitude elevada, ele é denominado forte. Porém, quando possui pequena frequência, é denominado fraco. Represente, usando a mesma escala:

- um sinal mais alto e mais fraco;
- um sinal mais baixo e mais fraco;
- um sinal mais alto e mais forte;
- um sinal mais baixo e mais forte;

10 (UNESP 2009) A figura mostra um fenômeno ondulatório produzido em um dispositivo de demonstração chamado tanque de ondas, que neste caso são geradas por dois martelinhos que batem simultaneamente na superfície da água 360 vezes por minuto. Sabe-se que a distância entre dois círculos consecutivos é 3,0 cm.



Pode-se afirmar que o fenômeno produzido é a:

- interferência entre duas ondas circulares que se propagam com velocidade de 18 cm/s.
- interferência entre duas ondas circulares que se propagam com velocidade de 9,0 cm/s.
- interferência entre duas ondas circulares que se propagam com velocidade de 2,0 cm/s.
- difração de ondas circulares que se propagam com velocidade de 18 cm/s.
- difração de ondas circulares que se propagam com velocidade de 2,0 cm/s.

AULAS 9 e 10 - ORGANIZANDO AS IDEIAS**Aluno (a): _____ nº ____ 2ª SÉRIE****Atividade Experimental**

Vamos resolver algumas questões presentes na apostila?

AULAS 11 e 12 - ATIVIDADE 4 - CORDA ESTICADA

Aluno (a): _____ nº ____ 2ª SÉRIE

Atividade Experimental

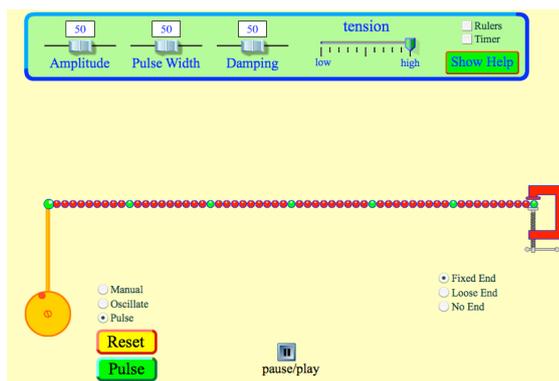
PRELIMINAR

Nosso objetivo na atividade inicial é a construção de um novo mapa de conceitos sobre Ondulatória. Lembre-se que eles são recursos esquemáticos simples para organizar ideias e representar um conjunto de significados conceituais sobre determinado tema.

INTERAÇÃO

Abra a simulação *WAVE ON A STRING* disponível em <http://phet.colorado.edu/en/simulation/waveonastring> e “brinque” um pouco com ela até se familiarizar com os comandos e as possibilidades.

1. Selecione a opção *pulse* e resolva as questões a seguir:

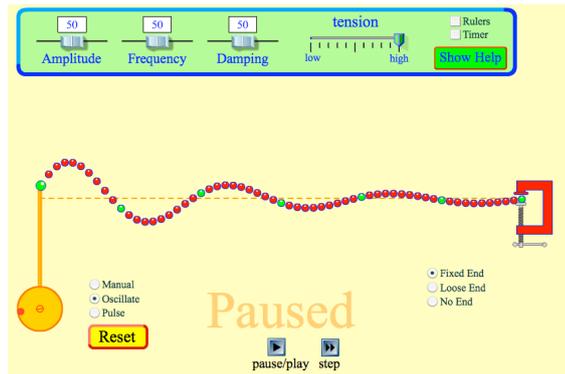


1.1: como medir a velocidade de propagação de um pulso que se propaga na mola esticada? Proponha um método e execute-o. Que resposta você obteve? Informe quais valores você escolheu para amplitude, *pulse width*, *damping* e *tension*.

1.2: estabeleça uma relação qualitativa entre a velocidade de propagação do pulso e as variáveis amplitude, *damping* (amortecimento) e *tension* (tração), isto é, escreva o que acontece com a velocidade de propagação a medida que altera o valor da amplitude (mas mantém constante os demais). Realize o mesmo procedimento para *damping* e *tension*.

1.3: Caracterize um pulso refletido (velocidade e amplitude) de forma comparativa ao pulso incidente quando a extremidade da mola for fixa e quando a extremidade da mola estiver solta. Se achar necessário, faça desenhos.

2. Selecione a opção *oscillate* e resolva as questões a seguir:



- Coloque a frequência em 30 e meça os diferentes comprimentos de onda para amplitude iguais a 40, 60, 80 e 100. Mantenha *damping* em 50.
- Coloque a frequência em 60 e meça os diferentes comprimentos de onda para amplitude iguais a 40, 60, 80 e 100. Mantenha *damping* em 50.
- Coloque a frequência em 90 e meça os diferentes comprimentos de onda para amplitude iguais a 40, 60, 80 e 100. Mantenha *damping* em 50.

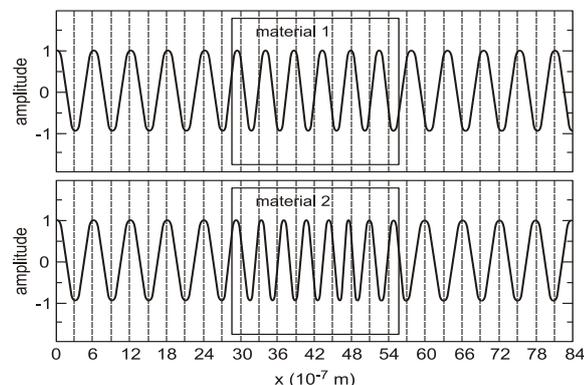
DESFECHO

1. (UFOP 2010) Uma criança está brincando com um xilofone ao lado de uma piscina. Num dado instante, com uma baqueta, ela bate em uma das varetas metálicas do instrumento musical, produzindo, assim, uma nota musical de frequência 160 Hz. Considerando que a velocidade do som é de 340 m/s no ar e de 1450 m/s na água, determine:

- o comprimento de onda desse som no ar;
- a frequência desse som ao atingir o ouvido do pai da criança, que está totalmente submerso na piscina;
- o comprimento de onda desse som na água.

2. (UFF 2010) As figuras a seguir mostram duas ondas eletromagnéticas que se propagam do ar para dois materiais transparentes distintos, da mesma espessura d , e continuam a se propagar no ar depois de atravessar esses dois materiais. As figuras representam as distribuições espaciais dos campos elétricos em um certo instante de tempo. A velocidade das duas ondas no ar é $c = 3 \times 10^8$ m/s.

- Determine o comprimento de onda e a frequência das ondas no ar.
- Determine os comprimentos de onda, as frequências e as velocidades das ondas nos dois meios transparentes e os respectivos índices de refração dos dois materiais.



AULAS 13 e 14 - ATIVIDADE 5 - INTERFERÊNCIA**Aluno (a): _____ nº ____ 2ª SÉRIE****Atividade Experimental**

PRELIMINAR

1. O que acontece quando uma onda, que se propaga na água, atinge uma superfície plana que a impede de se propagar? Use a cuba de vidro que está à disposição para construir sua resposta e, em seguida, faça um desenho que mostre a onda antes do encontro com a parede e depois dele. O que é o ECO? Como ele acontece? Quais as relações entre o ECO e o fenômeno anterior? Desenhe as ondas sonoras para representar esse fenômeno.
2. Encostados num muro, ouvimos um cachorro que está do outro lado, mas não somos capazes de vê-lo. Por que isso acontece, isto é, por que a onda sonora chega até nós e a onda luminosa não? Faça um desenho que ilustre essa situação. Represente o cachorro, o muro, você e as ondas sonoras e luminosas emitidas pelo cachorro. Para ajudá-lo na resposta, coloque um obstáculo na cuba de ondas que obstrua parcialmente a sua propagação, observe o que acontece e faça um desenho mostrando a onda antes e depois da passagem pelo obstáculo. Em seguida, pense novamente na situação do cachorro atrás do muro e complete sua representação.
3. Que percepção temos do som emitido por uma sirene de ambulância, quando esta se aproxima? E quando ela se afasta? O que acontece, nesse fenômeno, com as qualidades da onda sonora? A amplitude, a frequência, o comprimento de onda, a velocidade de propagação mudam ou permanecem constantes? Faça um desenho que mostre a onda sonora quando acontece uma aproximação entre fonte sonora e observador.

INTERAÇÃO

Abra a simulação INTERFERÊNCIA DE ONDA disponível em http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/wave-interference e “brinque” um pouco com ela até se familiarizar com os comandos e as possibilidades.

1. Selecione a aba “Água”, adicione uma parede vertical (*add wall*) e registre o que acontece com a onda incidente, após a reflexão. Faça variações no tamanho, posição e orientação da parede (não deixe de colocar a parede de forma que obstrua parcialmente a passagem da onda). Repita as montagens para diferentes frequências e amplitudes da onda.



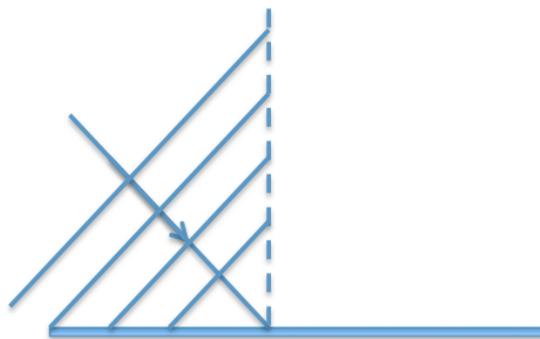
2. Selecione a aba “Som”, adicione uma fenda e registre o que acontece com a onda incidente, após encontrar a fenda. Faça variações no tamanho e posição da fenda. Repita as montagens para diferentes frequências e amplitudes da onda.

3. Selecione a aba “Luz” e explore livremente a simulação. Será que os resultados obtidos para ondas na água e ondas sonoras são aplicáveis as ondas luminosas?

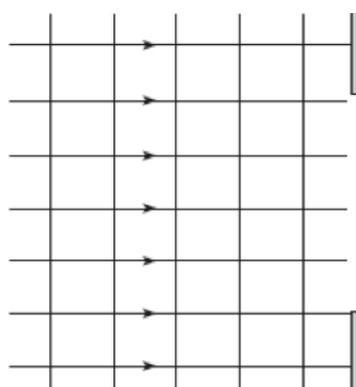
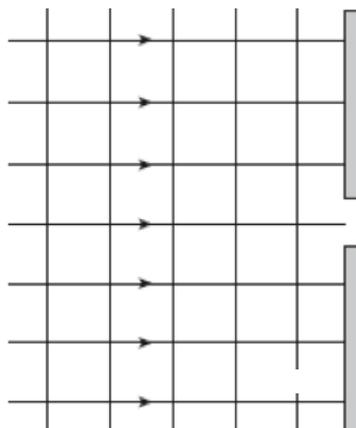
4. Selecione a aba “Água”, expanda a visualização da cuba e arraste a torneira, enquanto ela goteja sobre a cuba. Descreva o que acontece com as frentes de onda. O que acontece com os comprimentos de onda no sentido do movimento e no sentido oposto? Como isso influencia na frequência percebida?

DESFECHO

1. Complete a figura na qual uma onda plana se propaga em direção a um obstáculo. Compare (antes e depois da reflexão), o comprimento de onda, a frequência e a velocidade de propagação da onda.



2. A difração é um fenômeno no qual a onda contorna um obstáculo. Complete as figuras, representando a onda após a difração.



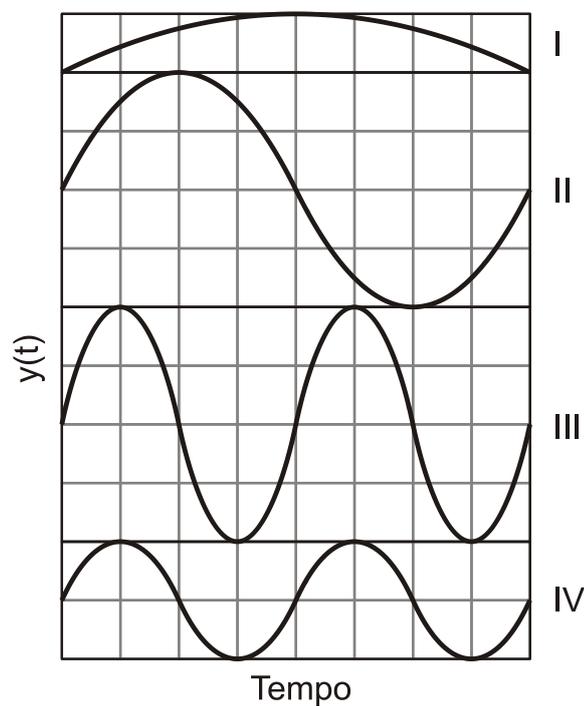
3. Quando uma fonte sonora se aproxima de um observador, este detecta um sinal mais agudo do que o sinal percebido pela fonte em repouso. Explique porque isso ocorre. Faça uma figura que ajude na compreensão da explicação.

AULAS 15 e 16 - AVALIAÇÃO OFICIAL

Aluno (a): _____ nº ____ 2ª SÉRIE

Atividade Experimental

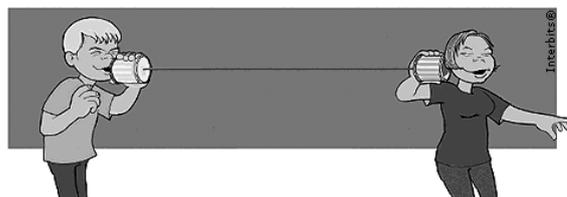
(2 pontos) 1. (UEG 2009 - adaptada) A figura a seguir ilustra quatro ondas sonoras I, II, III e IV, todas propagando-se num mesmo meio com mesma velocidade v .



Considerando as informações contidas no gráfico, responda ao que se pede:

- Qual onda é a mais alta?
- Qual sinal é o mais forte?
- Qual som é o mais grave?
- Qual sinal de menor intensidade?

(2 pontos) 2. (UFRJ 2011) Um brinquedo muito divertido é o telefone de latas. Ele é feito com duas latas abertas e um barbante que tem suas extremidades presas às bases das latas. Para utilizá-lo, é necessário que uma pessoa fale na “boca” de uma das latas e uma outra pessoa ponha seu ouvido na “boca” da outra lata, mantendo os fios esticados. Como no caso do telefone comum, também existe um comprimento de onda máximo em que o telefone de latas transmite bem a onda sonora.

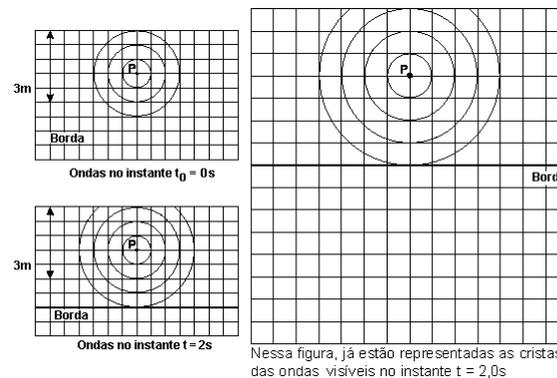


d) Explique o funcionamento desse telefone evidenciando quem é o elemento que vibra durante a propagação da onda mecânica desde a fala do menino até a recepção do sinal pela menina.

e) Sabendo que para um certo telefone de latas o comprimento de onda máximo é 50 cm e que a velocidade do som no ar é igual a 340 m/s, calcule a frequência mínima das ondas sonoras que são bem transmitidas pelo telefone.

(1 ponto) 3. (UFRJ 2010) Antenas de transmissão e recepção de ondas eletromagnéticas operam eficientemente quando têm um comprimento igual à metade do comprimento de onda da onda transmitida ou recebida. Usando esse fato e o valor $c = 3,0 \times 10^8$ m/s para a velocidade da luz, calcule o valor que deve ter o comprimento da antena de um telefone celular que opera eficientemente com ondas de frequência igual a $1,5 \times 10^9$ Hz.

(3 pontos) 4. (FUVEST 2009) Em um grande tanque, uma haste vertical sobe e desce continuamente sobre a superfície da água, em um ponto P, com frequência constante, gerando ondas, que são fotografadas em diferentes instantes. A partir dessas fotos, podem ser construídos esquemas, onde se representam as cristas (regiões de máxima amplitude) das ondas, que correspondem a círculos concêntricos com centro em P. Dois desses esquemas estão apresentados ao lado, para um determinado instante $t_0 = 0$ s e para outro instante posterior, $t = 2$ s. Ao incidirem na borda do tanque, essas ondas são refletidas, voltando a se propagar pelo tanque, podendo ser visualizadas através de suas cristas. Considerando os esquemas a seguir.



Nessa figura, já estão representadas as cristas das ondas visíveis no instante $t = 2,0$ s.

a) Calcule a velocidade de propagação V , em m/s, das ondas produzidas na superfície da água do tanque.

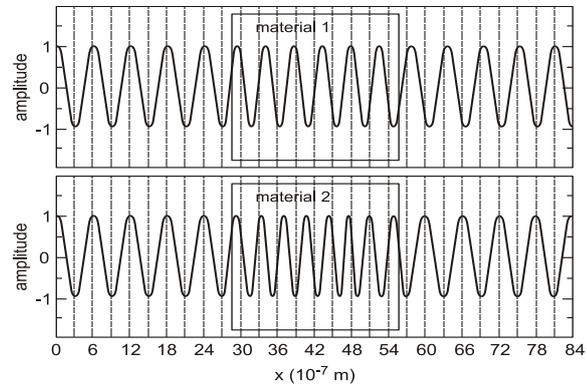
b) Determine a frequência f , em Hz, das ondas produzidas na superfície da água do tanque.

c) Represente as cristas das ondas que seriam visualizadas em uma foto obtida no instante $t = 6,0$ s, incluindo as ondas refletidas pela borda do tanque.

NOTE E ADOTE: Ondas, na superfície da água, refletidas por uma borda vertical e plana, propagam-se como se tivessem sua origem em uma imagem da fonte, de forma semelhante à luz refletida por um espelho.

(2 pontos) 5. (UFF 2010) As figuras a seguir mostram duas ondas eletromagnéticas que se propagam do ar para dois materiais transparentes distintos, da mesma espessura d , e continuam a se propagar no ar depois de atravessar esses

dois materiais. As figuras representam as distribuições espaciais dos campos elétricos em um certo instante de tempo. A velocidade das duas ondas no ar é $c = 3 \times 10^8$ m/s.



- Determine o comprimento de onda e a frequência das ondas no ar.
- Determine o comprimento de onda, a frequência e a velocidades da onda no meio material 1.