

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO:**  
**CONHECIMENTO E INCLUSÃO SOCIAL**  
**FACULDADE DE EDUCAÇÃO – FaE**

**DOUGLAS HENRIQUE DE MENDONÇA**

**A RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS CONCEITUAIS EM FÍSICA:**  
**uma análise a partir da Teoria da Atividade**

*Belo Horizonte*  
*Faculdade de Educação da UFMG*  
*Fevereiro de 2019*

**DOUGLAS HENRIQUE DE MENDONÇA**

**A RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS CONCEITUAIS EM FÍSICA:  
uma análise a partir da Teoria da Atividade**

*Tese apresentada como requisito parcial para a conclusão do doutorado em Educação do Programa de Pós-Graduação em Educação: Conhecimento e Inclusão Social da Faculdade de educação da Universidade Federal de Minas Gerais. Linha de pesquisa em Educação e Ciências.*

*Orientador: Orlando Gomes Aguiar Jr.*

**Belo Horizonte**

**2019**

M539r

Mendonça, Douglas Henrique, 1985-

T

A resolução de problemas conceituais em física [manuscrito]:  
uma análise a partir da Teoria da Atividade / Douglas Henrique Mendonça.  
- Belo Horizonte, 2019.

203 f., enc.: il.

Tese - (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais,  
Faculdade de Educação.

CDD- 530.07

**Catálogo da Fonte : Biblioteca da FaE/UFMG**

## **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Orlando Gomes Aguiar Jr – Orientador  
Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG

---

Prof. Dr. Cristiano Rodrigues de Mattos  
Universidade Federal de São Paulo– USP

---

Prof. Dr. Adelson Fernandes Moreira  
Centro Federal De Educação Tecnológica – CEFET/MG

---

Prof. Dr. Eduardo Sarquis Soares  
Universidade Federal de São João del-Rei – UFSJ

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Vanessa Sena Tomaz  
Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG

---

Prof. Dr. Fábio Augusto Rodrigues e Silva (Suplente)  
Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Nilma Soares da Silva (Suplente)  
Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG

Dedico este trabalho a minha querida mãe Maria das Graças (in memoriam), que partiu em 1998, e que mesmo partilhando sua presença comigo apenas pouco mais de uma década, me ensinou a crescer, a ser forte e a encontrar solução perante todos os problemas. Acontece que nem sempre é fácil, sabe mãe? Mas prometo que vou resistir e continuarei na luta por um mundo melhor, agora também para seus netos.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a minha querida esposa Rafaela por todo seu amor, apoio, confiança, conforto, paciência e dedicação a nossa família. Você foi meu apoio, meu porto seguro, e mesmo nas horas mais difíceis me aturou, incentivou e nunca deixou de acreditar em mim. Tornar a sua vida e dos filhos que você me presenteou sempre mais feliz será o meu grande trabalho de agora em diante.

A meu pai Sérgio, que esteve ao meu lado durante toda minha vida exercendo o duro papel de pai e mãe por muito tempo. E mesmo diante de toda dificuldade, nunca me deixou faltar nada, sempre investiu nos meus estudos e sempre incentivou meus projetos, por mais malucos que pudessem ser. Agradeço também a meu irmão Cleiton pelo apoio familiar.

Ao meu orientador Orlando um agradecimento mais que especial, você que sempre foi para mim muito mais que um orientador, um verdadeiro amigo, por vezes até terapeuta, que acreditou em mim, me incentivou, e nunca me deixou desistir. Com você aprendi tantas coisas, que inclusive extrapolam a vida acadêmica. Agradeço também a sua esposa Laurinha que muito me incentivou e se preocupou comigo. Saiba que vocês têm um lugar especial em meu coração.

Ao Professor participante da pesquisa por abrir sua sala de aula e se dispor a ajudar sempre que necessário.

Agradeço também aos alunos que concordam em participar desta pesquisa, sendo sempre agráveis e solícitos.

Aos meus colegas do grupo de estudos sobre Teoria da Atividade na Faculdade de Educação, por sua receptividade e disposição em partilhar comigo seus conhecimentos.

A Vanessa Tomaz e Eduardo Sarquis pela disposição em discutir sobre meu trabalho, participando da banca de qualificação, fornecendo aportes substanciais a esta pesquisa.

A meus colegas de trabalho do departamento de Física da UFV campus Florestal – Leonardo, Robson, Natália, Romeu, Fabrício, Celi e Renato – pelo incentivo e disposição em assumir parte de meus encargos didáticos.

A nossa fiel companheira Valdirene que cuidou tão bem de minha família durante minha frequentes ausências.

A Universidade Federal de Viçosa que me forneceu liberação total de minhas atividades por mais de dois anos.

A banca examinadora desta tese, por sua disposição em discutir sobre este trabalho.

Ao Programa de Pós Graduação em Educação: Conhecimento e Inclusão Social, da Faculdade de Educação da UFMG pelo acolhimento.

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo compreender como se estrutura e se desenvolve a atividade em grupo de resolução de questões conceituais em uma disciplina de um curso de graduação em Física. A coleta de dados foi realizada em uma instituição federal de ensino superior. A disciplina acompanhada tem como objetivo rever e aprofundar os principais conceitos básicos de física, e suas aplicações em contextos. A metodologia adotada pelo professor em suas aulas envolve a distribuição de questões conceituais que devem ser solucionados pelos estudantes, trabalhando em pequenos grupos. As respostas dos estudantes devem ser acordadas no grupo e redigidas em nível adequado a serem utilizadas no ensino médio. Os dados utilizados foram coletados por meio da gravação em áudio e vídeo de um dos grupos. A análise do material empírico é fundamentada nos aportes teóricos e metodológicos provenientes dos princípios da Teoria Sócio Histórico e Cultural da Atividade. Tal referencial possibilita a compreensão da atividade com sendo formada por um conjunto de eventos que extrapolam a análise do indivíduo, incluindo novos elementos que relacionam o sujeito da atividade com a comunidade. As discussões apresentadas nesta tese objetivam responder às seguintes questões de pesquisa: 1) Como os estudantes lidam com as diferentes tensões e contradições que emergem durante a realização da atividade? 2) Quais elementos da metodologia de ensino adotada na disciplina de Física Conceitual favorecem a emergência de miniciclos de aprendizagem potencialmente expansivos? 3) Quais as perspectivas de aprendizagem em física que emergem das atividades de resolução de problemas no contexto investigado? Dentre nossos resultados destacamos diversos pontos na metodologia adotada na disciplina – questões desafiadoras, o trabalho em grupo, as intervenções do professor, recursos mediacionais, dentre outras – que a nosso ver propiciaram o surgimento de miniciclos de aprendizagem potencialmente expansivos. Identificamos uma contradição entre a física que é ensinada no curso de física na instituição investigada e a necessidade de se aprender física para além de solução de problemas clássicos, tal como tradicionalmente apresentado nessas disciplinas, cujo excessivo formalismo matemático acaba por se revelar inoperante e sem significado para os estudantes. O estudo tem implicações para a formação de professores e, ainda, para a construção de ambientes de aprendizagem em física em outros níveis de ensino.

**Palavras chave:** Ensino de Física; Atividade em grupo; Teoria da Atividade; Aprendizagem em grupo.

## **ABSTRACT**

This work aims to understand how group activity of solving physics conceptual problems develop itself and is structured in the context of a Conceptual Physics undergraduate class, part of a Physics Teachers' course at a Federal Institution of Higher Education in Brazil. In such class, focus of this research, teacher aims to review and deepen the main basic concepts of Physics, and their application in contexts. The methodology adopted by the teacher in his classes involves the distribution of conceptual problems that must be solved by the students, working in groups. Student responses should be agreed in the group and written at an appropriate level to be used in high school. The data used in this work were collected through audio and video recording from one of the groups. The analysis of the empirical material is based on the theoretical and methodological contributions derived from the principles of the Cultural Historical Activity Theory (CHAT). This framework enables the understanding of the activity and it is performed by a set of events that extrapolate the analysis of the individual, including new elements that relate the subject of the activity to the community. In addition, CHAT as proposed by Engeström and his research group present innovative theoretical and methodological contributions to analyze the phenomenon of learning. The discussions presented in this thesis aim to answer the following research questions: 1) How do students deal with the different tensions that emerge during the activity? 2) What elements of the teaching methodology adopted in Conceptual Physics class favor the emergence of mini-cycles of potentially expansive learning? 3) What are the perspectives of learning in physics that emerge from problem solving activities in the context of the accompanying discipline? Among our results we highlight several points in the methodology adopted in the discipline - challenging questions, group work, teacher interventions, mediational means, among others - which in our view allowed for the emergence of potentially expansive mini-cycles of learning. We identify a contradiction between the approach used in this class with the one in which physics is taught in the investigated institution and the need to learn physics beyond the solution of classic problems as traditionally presented, whose excessive mathematical formalism turns out to be inoperative and meaningless to students. The study has implications for the training of physics teachers and also for the construction of learning environments in physics at other levels of education.

**Keywords:** Physics Teaching; Group activity; Activity Theory; Group learning.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Entrevista com o Professor: Trecho 1 .....	58
Tabela 2 - Entrevista com a Diana: Trecho 1 .....	59
Tabela 3 - Entrevista com o Professor: Trecho 2 .....	61
Tabela 4 - Entrevista com o Professor: Trecho 3 .....	62
Tabela 5 - Entrevista com a Yara: Trecho 1 .....	63
Tabela 6 - Entrevista com o Eduardo: Trecho 1 .....	63
Tabela 7 - Entrevista com o Professor: Trecho 4 .....	64
Tabela 8 - Entrevista com Marcos: Trecho 1 .....	66
Tabela 9 - Entrevista com o Professor: Trecho 5 .....	67
Tabela 10 - Entrevista com o Marcos: Trecho 2 .....	68
Tabela 11 - Entrevista com o Professor: Trecho 6 .....	68
Tabela 12 - Entrevista com a Diana: Trecho 2 .....	69
Tabela 13 - Entrevista com o Marcos: Trecho 3 .....	69
Tabela 14 - Entrevista com a Yara: Trecho 2 .....	70
Tabela 15 - Entrevista com Marcos: Trecho 4 .....	72
Tabela 16 - Entrevista com o Professor: Trecho 7 .....	73
Tabela 17 - Entrevista com o Marcos: Trecho 5 .....	73
Tabela 18 - Entrevista com o Professor: Trecho 8 .....	75
Tabela 19 - Entrevista com Marcos: Trecho 6 .....	75
Tabela 20 - Episódio 1: Primeira parte .....	86
Tabela 21 - Episódio 1: Segunda parte .....	87
Tabela 22 - Episódio 1: Terceira parte .....	91
Tabela 23 - Episódio 1: Quarta parte .....	94
Tabela 24 - Episódio 2 – Primeira parte .....	97
Tabela 25 - Episódio 2 – Segunda parte .....	104

Tabela 26 - Episódio 2 - Terceira parte .....	114
Tabela 27 - Episódio 3: Primeira parte .....	120
Tabela 28 - Episódio 3: Segunda parte .....	126
Tabela 29 - Episódio 3: Terceira parte .....	133
Tabela 30 - Episódio 3: Quarta parte .....	137
Tabela 31 - Episódio 4: Primeira parte .....	141
Tabela 32 - Episódio 4: Segunda parte .....	144
Tabela 33 - Episódio 4: Terceira parte .....	151

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Modelo para um sistema de atividade genérico Fonte: Engeström (2001, p. 135).....	31
Figura 2 - Diagrama do sistema de atividade (ENGESTRÖM, 1987) adaptado por Pontelo (2009).....	33
Figura 3 - Diagrama do sistema de atividade (ENGESTRÖM, 1987, 2001) adaptado por Silva & Mortimer (2016).....	34
Figura 4 - Representação de um modelo mínimo de duas atividades interagindo - Fonte Engeström, 2001 p. 136. ....	35
Figura 5 - Quatro níveis de contradição dentro da atividade humana Fonte: Engeström, 2016. ....	36
Figura 6 - Sequência de ações de aprendizado em um ciclo de aprendizagem expansiva Fonte: Engeström, 2016.....	40
Figura 7 - Grupo 1 Física Conceitual 1 – Frente a esquerda: Diana; Frente a direita: Yara; Segundo a esquerda: Marcos; Segundo a direita: Heitor; Centro no fundo: Eduardo.....	51
Figura 8 - Figura extraída do prefácio do livro de Física 1 do Livro Sears e Zemansky 12a edição. Mesmo em edições posteriores, o último parágrafo encontra-se incompleto.....	71
Figura 9 - Respostas às questões do capítulo 7 do livro Fundamentos de Física, volume 1, Halliday e Resnick, 8a edição. P. 344.....	72
Figura 10 - Modelo de atividade humana proposto por Engeström (1987) e modificado por Silva e Mortimer, 2016. ....	80
Figura 11 - Modelo da atividade do grupo investigado baseado em Engeström (1987) e Pontelo (2009).....	83
Figura 12: Segunda questão da aula 2. Questionário relativo aos temas Vibrações e Ondas.....	86
Figura 13: Resposta à segunda questão da aula 2 com correção a correção do professor .....	95

Figura 14 – Quarta questão do relatório da aula 5. Questionário relativo ao tema de ondas sonoras.....	97
Figura 15 - (A) Figura extraída do questionário da 4ª aula de Física Conceitual II; (B) Figura extraída do livro Paul Hewitt (9a edição).....	100
Figura 16 - Primeiro sistema de atividade do processo de resolução da questão 4 da quarta aula .....	101
Figura 17 - Segundo sistema de atividade do processo de resolução da questão 4 da quarta aula. ....	104
Figura 18 - Descrição da forma de propagação da onda sonora com o um cone ...	110
Figura 19 - Descrição da forma de propagação da onda sonora esférica (A) ou circular (B) .....	110
Figura 20 - Representações gestuais da forma da onda idealizada por eles. (A) propagação paraxial; (B) propagação esférica; (C) propagação cônica; (D) propagação cônica; (E) propagação circular .....	112
Figura 21 - Terceiro sistema de atividade do processo de resolução da questão 4 da quarta aula. ....	114
Figura 22 - Quarto sistema de atividade do processo de resolução da questão 4 da quarta aula. ....	117
Figura 23 - Resposta à quarta questão da aula 2. Questionário relativo ao tema de ondas sonoras.....	118
Figura 24: Terceira questão da aula 2. Questionário relativo aos temas de Vibrações e Ondas.....	120
Figura 25: Resposta à terceira questão da aula 2. Questionário relativo ao tema de Ondas Sonoras .....	139
Figura 26 – Primeira questão da aula 5. Questionário relativo ao tema de Oscilações .....	140
Figura 27 – Resposta à primeira questão da aula 5, com correção do professor. ..	157

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	16
CAPÍTULO 1 Referencial Teórico: A Teoria Sócio-Histórico-Cultural da Atividade ...	23
1.1. O QUE É A TEORIA DA ATIVIDADE? .....	23
1.2. AS TRÊS GERAÇÕES DA TEORIA DA ATIVIDADE .....	25
1.3. ENGESTRÖM E A TEORIA DA ATIVIDADE .....	30
CAPÍTULO 2 Procedimentos Metodológicos.....	42
2.1. O AMBIENTE INVESTIGADO .....	43
2.2. AS DISCIPLINAS.....	45
2.3. O PROFESSOR .....	47
2.4. OS ALUNOS .....	48
2.5. OS QUESTIONÁRIOS .....	49
2.6. A COLETA DE DADOS E OS PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	50
2.7. PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE DOS DADOS.....	54
CAPÍTULO 3 Caracterização do ambiente de pesquisa .....	56
3.1. DA ORIGEM À CONSOLIDAÇÃO DA FÍSICA CONCEITUAL .....	57
3.2. AS QUESTÕES, A PRODUÇÃO DO RELATÓRIO E O RETORNO DADO PELO PROFESSOR.....	66
3.3. AS CONTRADIÇÕES EM NOSSO AMBIENTE DE PESQUISA.....	76
3.4. A CARACTERIZAÇÃO DA ATIVIDADE .....	79
Capítulo 4 Análise da atividade de um dos grupos na resolução de problemas conceituais em Física .....	84
4.1. EPISÓDIO 1 – ENERGIA, INTENSIDADE E AMPLITUDE NA PROPAGAÇÃO DE UMA ONDA: PROCESSO DE APROPRIAÇÃO DA LINGUAGEM CIENTÍFICA .....	85
4.2. EPISÓDIO 2 – MODELAGEM DE UM FENÔMENO FÍSICO: O PROBLEMA DA ATENUAÇÃO DO SOM .....	96
4.3. EPISÓDIO 3 – APRENDENDO A ATRIBUIR SENTIDOS ÀS REPRESENTAÇÕES EM FÍSICA: ENERGIA EM UMA ONDA SE PROPAGANDO EM UMA CORDA .....	119
4.6. EPISÓDIO 4 – CONSTRUINDO HIPÓTESES E ARGUMENTOS: O PROBLEMA DA LÂMINA OSCILANTE ...	140
4.7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	157
4.7.1. POTENCIALIDADE E LIMITES DAS INTERAÇÕES ENTRE PARES.....	157

4.7.2. AS INTERVENÇÕES DO PROFESSOR: TENSÃO ENTRE CONTROLE E AUTONOMIA .....	160
4.7.3. PROVOCANDO A ATIVIDADE DOS ESTUDANTES: QUESTÕES DE FÍSICA CONCEITUAL.....	162
4.7.4. LINGUAGEM CIENTÍFICA E COTIDIANA.....	163
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	165
REFERÊNCIAS.....	172
APÊNDICE A.....	176
APÊNDICE B.....	179
ANEXO.....	182

## INTRODUÇÃO

O estudo apresentado nesta tese tem sua origem nas inquietações que emergiram durante minha trajetória acadêmica envolvendo ambientes de aprendizagem que favorecem a participação discursiva dos estudantes. Em meus primeiros trabalhos de pesquisa, analisei os movimentos provocados pela participação dos estudantes por meio de suas perguntas ou seus comentários críticos dentro de sala de aula de ciências (MENDONÇA, 2009). Dentre os resultados desta pesquisa destaco diversas evidências que sinalizam a importância de promover o engajamento dos estudantes em situações em que possam colaborar entre si e com orientação do professor no enfrentamento de problemas. Para tal, me apoiei em autores que sinalizam ações docentes que podem favorecer a construção de ambientes de aprendizagem colaborativa, tais como: dar suporte para o entendimento profundo dos estudantes sobre o conteúdo (CHIN E OSBORNE, 2008), participar de práticas científicas, tal como a argumentação, possibilitando que os estudantes relacionem novos conceitos e ideias da ciências com seus próprios interesses, experiências e conhecimentos (AGUIAR *et al*, 2010), fomentar a discussão e debates reforçando assim a qualidade do discurso na sala de aula, bem como motivá-los a estudar o tema com interesse (CHIN *et al*, 2002).

Nos últimos anos, tenho investigado práticas de ensino que incentivam o maior protagonismo dos estudantes na sala de aula. No primeiro semestre de 2014, como docente de disciplinas de metodologia do ensino no curso de Licenciatura em Física da UFV-Campus Florestal, apliquei em minha sala de aula uma metodologia de pesquisa conhecida na literatura como instrução por pares (*peer instruction*<sup>1</sup>). Em síntese, a metodologia envolve a iniciação do professor por meio de uma questão de múltipla escolha, em seguida cada estudante deve individualmente apresentar sua opção por meio de um cartão de respostas. Neste ponto, o professor deve avaliar a

---

<sup>1</sup> O método de instrução por pares (*peer instruction*) tem sua origem nas iniciativas do professor Eric Mazur em meados da década de 90 (ver MAZUR, 1997). Seu método de ensino que surgiu na década de 90, apesar de sua fundamentação teórica não ter grande embasamento em teorias de aprendizagem, seus resultados empíricos são coincidentes com os trabalhos que investigam a metodologia de trabalho em grupo. Sua metodologia de ensino vem sendo amplamente utilizada por vários professores em diversos países. Trabalhos de pesquisa sobre este método apontam para sua eficácia como facilitador da aprendizagem dos estudantes.

resposta dos estudantes, caso observe grande discrepância entre elas, ele pedirá para que os estudantes conversem rapidamente entre si, e, logo em seguida, apresentem novas respostas.

Ao coletar dados das respostas dos alunos antes e depois de conversarem entre os pares, fiquei impressionado ao observar que, após o diálogo entre eles, suas respostas quase sempre convergiam para a resposta cientificamente correta<sup>2</sup>. Tal resultado foi propulsor para o surgimento das primeiras questões de fundo que permeiam esta tese: Como se desenvolvem os processos de ensino e aprendizagem de física durante a discussão entre os pares? Como os estudantes trabalham com seus conhecimentos de física e como eles reconhecem, consideram e se dispõem a discutir sobre ponto de vista do outro diante de uma situação de resolução de uma questão de física? Como se dá a organização das discussões? Como eles fazem uso dos conceitos científicos de física em suas explicações? Como outras formas de conhecimento entram nas discussões? Como os estudantes articulam diferentes modelos explicativos em suas discussões? Como as estruturas de poder e assimetrias entre os estudantes os influenciam nas tomadas de decisão?

Esta pesquisa envolve o estudo de um ambiente de ensino construído de forma a favorecer o trabalho em pequenos grupos de estudantes, nos quais os processos interativos entre eles são ferramentas fundamentais para desenvolvimento das atividades propostas pelo professor. A principal motivação pela investigação de tal ambiente de pesquisa tem origem na crença de que a melhoria da educação passa também pelo aumento do protagonismo dos estudantes na sala de aula.

Acompanhamos o trabalho de uma disciplina de Física Conceitual, ofertada como optativa<sup>3</sup> para os cursos de licenciatura e bacharelado em Física. Nosso ambiente de pesquisa é marcado pelo grande interesse dos estudantes pela disciplina. Mesmo sendo optativa, ela mantém um número relativamente elevado de estudantes com oferta em todos os semestres, por mais de 10 anos. Além disso, a disciplina possui ótima avaliação entre os estudantes, que a consideram importante para sua formação e se sentem altamente desafiados pelos problemas propostos. O

---

<sup>2</sup> Os dados desta pesquisa bem como os resultados e análises foram apresentados no Simpósio Nacional de Ensino de Física no ano de 2015 (ver. MENDONÇA et al 2015)

<sup>3</sup> Com a reforma do currículo, a partir de 2018, as disciplinas de Física Conceitual I e II passaram a ser obrigatórias para a Licenciatura e optativas para o Bacharelado em Física na instituição.

professor responsável pela disciplina, além de ser muito experiente, tem uma ótima relação com seus estudantes.

O trabalho em grupo dentro da sala de aula não é uma metodologia comumente adotada na graduação em física na instituição investigada, a não ser nas disciplinas experimentais, dentro de laboratórios, nas qual eles são normalmente separados em duplas e orientados por um roteiro estruturado. Embora discussões teóricas dos conteúdos de física se façam presentes nessas disciplinas experimentais, o enfoque delas é o aprendizado de procedimentos de operação dos equipamentos para coleta de dados e análise da adequação dos resultados para composição de um relatório final.

A disciplina investigada tem como objetivo rever e consolidar conceitos básicos de física que poderão ser abordados no ensino médio. A metodologia de ensino empregada pelo professor envolve a distribuição de questões conceituais<sup>4</sup> de física que deverão ser resolvidos em grupo pelos estudantes. Ao final de cada aula, o grupo entrega um relatório, contendo suas respostas. O relatório é corrigido pelo professor, e devolvido ao grupo sempre na aula seguinte. As questões utilizadas na disciplina são, de certa forma, diferentes das questões tradicionalmente encontradas em livros de física básica. Elas são enunciadas de forma contextualizada e com forte viés na vida cotidiana dos estudantes. Além disso, elas geralmente permitem múltiplas interpretações, exigindo que os estudantes participem do processo de elaboração das condições de contorno relevantes para solução do problema.

As questões apresentadas não se restringem a situações ideais, comumente utilizadas em problemas convencionais de física, mas várias delas apresentam uma situação contextual a ser interpretada com base em conceitos físicos, o que permite que os estudantes argumentem sobre possíveis suposições que alterariam a direção de sua resposta. A sala de aula é marcada por intensa e, por vezes, calorosas interações discursivas entre os estudantes, com a utilização de inúmeros recursos mediacionais durante as discussões.

---

<sup>4</sup> Entende-se por questões conceituais aquelas cujo foco estão nas discussões dos conceitos e seus limites de validade e aplicação, em detrimento ao enfoque dos procedimentos matemáticos, típicos de salas de aula dos cursos de exatas.

Consideramos importante o estudo de boas metodologias empregadas no ensino superior, uma vez que pesquisas neste contexto são escassas, e geralmente voltadas para ambientes de estágio e práticas de ensino, o que se difere do ambiente de pesquisa que nos propomos a investigar. O curso de Física, em geral, apresenta uma estrutura rígida de ensino, centrada na figura do professor como palestrante e na exposição de conteúdo no quadro. Poucos são os professores que identificam problemas em suas práticas, e menor ainda o número daqueles que se dispõem a promover mudanças nos papéis de professor e alunos em salas de aula.

A junção dos elementos citados nos parágrafos anteriores torna nosso ambiente de pesquisa como favorável para o estudo sobre os processos de aprendizagem em atividades coletivas. Consideramos a atividade em grupo uma situação complexa, que envolve não somente o conhecimento dos alunos, como também os materiais envolvidos, os pressupostos, a relação do professor com a atividade, a relação entre os integrantes, dentre outros.

A pesquisa está fundamentada nos princípios da Teoria Sócio Histórico e cultural da Atividade (TA), que nos últimos anos vem se mostrando bastante útil para análise dos processos educacionais (MOREIRA E PONTELO, 2009; MOREIRA ET AL., 2011; RODRIGUES ET AL., 2011; SILVA, 2011; VIEIRA E KELLY, 2014; DAVID E TOMAZ, 2015, ROTH, 2004). A unidade de análise na TA é o conceito de atividade humana culturalmente mediada, coletiva e orientada a objetos, sempre relacionada a outro ou vários outros sistemas de atividade. A necessidade é o motivo que move o ser humano no sentido de superação de seus anseios. A relação entre o sujeito e o objeto, fruto de sua necessidade, é mediada pelos recursos mediacionais – ferramentas materiais ou culturais –, pelas regras explícitas e implícitas, pela comunidade que está envolvida na atividade e pelos modos de divisão de trabalho.

A escolha desse referencial teórico se justifica por nosso interesse em situar a atividade dos estudantes na sala de aula investigada com o contexto sócio-histórico-cultural mais geral em que essa atividade se realiza, considerando os motivos e objetivos que movem os sujeitos (professor e estudantes) a sustentarem o ambiente de aprendizagem do qual fazem parte.

A Teoria Socio-Histórico-Cultural da Atividade direciona o olhar para as contradições que fazem evoluir a atividade dos sujeitos. Uma destas tensões consiste

no encontro de diferentes linguagens e modos de pensar os fenômenos físicos que fazem parte do repertório dos estudantes e são mobilizados por eles na resolução dos problemas propostos. Usualmente, nas aulas de física sobretudo no ensino superior, há um cerceamento de linguagens e modos de pensar que não fazem parte da cultura científica constituída e estruturada. No caso da física, isso se faz por meio do apelo a um forte formalismo matemático, que acaba por tornar este conhecimento estéril no entendimento e enfrentamento de problemas do mundo natural e tecnológico. Como veremos, nas disciplinas de Física Conceitual I e II, que constituem o foco de nossa investigação, há uma intenção explícita do professor e dos estudantes em aproximar o mundo e as linguagens da física de problemas e fenômenos físicos que permeiam situações cotidianas e familiares aos estudantes. A superação deste isolamento das esferas do conhecimento escolar e a física no mundo vivido é, assim, o motivo principal que justifica a atividade dos sujeitos (professor e estudantes) no ambiente de aprendizagem aqui investigado.

Outra tensão na atividade de resolução de problemas no ambiente investigado nesta tese consiste nos papéis desempenhados pelo professor e pelos estudantes. Ao professor, compete agir no sentido de estabelecer pontes entre a cultura, linguagens e modos de pensar dos estudantes e a cultura e linguagens da física, de modo que o tensionamento entre o mundo teórico da física e o mundo dos fenômenos seja produtivo, no sentido de se provocarem mutuamente. A orientação dada pelo professor ao objeto da atividade deve coincidir com sua posição enquanto representante da cultura científica dentro da sala de aula. Por outro lado, a ação docente deve permitir uma atividade autêntica dos estudantes, de modo que possam construir sentidos pessoais aos conceitos e modelos físicos envolvidos. O desafio deste trabalho é entender como os estudantes, diante da tarefa orientada pela disciplina, de modo o mais autônomo possível, lidam com as tensões, dilemas e problemas entre os elementos de sua atividade e caminham rumo a produção de novos significados aos conceitos físicos no enfrentamento de problemas, ressignificando aqueles já parcialmente internalizados.

Diante deste cenário, enunciaremos o objetivo deste trabalho como sendo compreender **como se estrutura e se desenvolve a atividade em grupo de resolução de problemas em uma disciplina de Física Conceitual em um curso**

**de graduação em Física.** Tal pesquisa tem como foco compreender como os estudantes lidam com as contradições inerentes ao contexto sócio-histórico-cultural de que fazem parte, no sentido de transformá-lo e transformarem a si mesmos. Para tal, é fundamental descrever a dinâmica de trabalho e as estruturas que organizam e condicionam a atividade.

Nesta pesquisa, enunciamos as seguintes questões:

- 1) Como os estudantes lidam com as diferentes contradições que emergem durante a realização da atividade?
- 2) Quais elementos da metodologia de ensino adotada nas disciplinas FC favorecem a emergência de miniciclos de aprendizagem potencialmente expansivos?
- 3) Quais as perspectivas de aprendizagem em Física que emergem das atividades de resolução de problemas no contexto das disciplinas FC?

Além desta introdução a presente tese é constituída por 4 capítulos e as considerações finais.

No primeiro capítulo, Referencial Teórico: A Teoria Sócio-Histórico-Cultural da Atividade, iremos apresentar o referencial teórico adotado na pesquisa, iniciando com a apresentação da origem e evolução desta perspectiva de estudo dos processos de constituição da cognição humana e indicando os princípios que a constituem. No capítulo, daremos destaque para os elementos que deram sentido aos objetivos da tese e orientaram o desenho da pesquisa, a análise e interpretação de dados. O delineamento dado ao capítulo demonstra o potencial da Teoria da Atividade como referencial de análise de situações reais de sala de aula, percebendo o sujeito como ser integrante de uma rede de relacionamento entre os elementos constitutivos tanto da própria atividade quanto de outros sistemas de atividade inter-relacionados.

No segundo capítulo, Percursos Metodológicos, apresentamos o ambiente da pesquisa – a sala de aula, o professor, a organização da disciplina, os materiais utilizados, exemplos de problemas discutidos nos grupos. Em seguida, são apresentados os métodos de coleta de dados e os procedimentos de análise dos mesmos.

O terceiro capítulo, Identificando Contradições a Superar, faço uso das entrevistas com os participantes, comentários de alunos e ex-alunos e a nossa percepção enquanto pesquisadores para situar a disciplina de Física Conceitual no contexto da graduação em física. Discutimos sobre pontos de tensionamento no curso de física, explicitados pelos participantes que nos permite enunciar diversas contradições neste sistema de atividade. Na segunda parte do capítulo, caracterizamos os sistemas de atividade que iremos analisar neste trabalho.

No quarto capítulo – Examinando a atividade de resolução de problemas conceituais em Física - apresentamos a análise de episódios obtidos por meio da gravação em áudio e vídeo das discussões dos estudantes durante a resolução das questões conceituais nessa sala de aula. Esta análise é fundamental para compreender como os estudantes se organizam e lidam com os conflitos e tensões que emergem durante a atividade, possibilitando o surgimento de miniciclos de aprendizagem potencialmente expansivos.

Por fim, nas considerações finais, apresento os principais resultados, desdobramentos e implicações desta pesquisa, além de interpretação de suas possíveis contribuições para o Ensino de Física.

## CAPÍTULO 1

### Referencial Teórico: A Teoria Sócio-Histórico-Cultural da Atividade

Os referenciais teóricos de uma pesquisa definem o recorte e orientam o olhar do pesquisador na análise do fenômeno em estudo. Portanto, iniciamos este relato de pesquisa apresentando o marco teórico que fundamenta esta pesquisa e justificando a escolha e adequação deste referencial ao objeto da pesquisa, qual seja, a resolução de problemas conceituais de física em uma sala de aula de ensino superior que adota como metodologia o trabalho dos estudantes em pequenos grupos.

Na primeira seção, apresentamos uma breve síntese dos aspectos que consideramos centrais do marco teórico adotado, a teoria da atividade. Na segunda seção, indicamos a origem e evolução desta perspectiva teórico-metodológica, por entender que esta perspectiva histórica esclarece aspectos importantes da teoria. Na terceira seção, apresentamos a teoria da aprendizagem expansiva, de Engeström (1987, 2016), uma das vertentes da terceira fase da Teoria da Atividade, que adotamos para análise dos nossos dados.

#### 1.1. O que é a Teoria da Atividade?

A Teoria Sócio-Histórico-Cultural da Atividade – ou simplesmente TA, Teoria da Atividade, ou ainda CHAT, *Cultural Historical Activity Theory*, termo cunhado por Michael Cole (1996) – é um quadro teórico amplo e interdisciplinar que pretende conectar eventos de cognição humana (consciência, formas de pensamento e emoções) com as ações (simbólicas e materiais) do ser humano em sociedade. O termo atividade é aqui entendido como a necessidade que orienta as ações mediadas por artefatos culturais, portanto, com um propósito ou finalidade.

Este referencial teórico, desde suas origens, pretendeu superar dualismos entre razão e emoção, indivíduo e sociedade, sujeito e objeto, fatores internos e externos ao desenvolvimento humano, consciência individual e mundo social. Para tal, entende que o indivíduo não pode ser compreendido fora de seu ambiente cultural e, tampouco, a sociedade pode ser analisada sem considerar a ação de indivíduos que usam e produzem os artefatos culturais (Engeström, 2014, p. xiv). De acordo com Vygotsky (1987), o mecanismo que conecta a consciência humana e vida em

sociedade são os artefatos simbólicos, fundamentais para o desenvolvimento das funções mentais superiores e para a aprendizagem humana.

Segundo essa perspectiva teórica, as atividades humanas são essencialmente coletivas e compõem sistemas de atividade dinâmicos e potencialmente transformadores. Embora histórica e culturalmente determinados, estes sistemas de atividade podem promover mudanças no mundo (do ponto de vista material e social) e, ao mesmo tempo, mudanças nos indivíduos que fazem parte deles (do ponto de vista cognitivo e moral).

Adotar tal perspectiva obriga, portanto, considerar a influência da sociedade, em contextos sócio-histórico-culturais específicos, na constituição e evolução dos sujeitos. Utilizar a Teoria da Atividade como referencial de análise para examinar processos de aprendizagem escolar implica em concordar com a proposição de que o indivíduo não deve ser investigado mais como sujeito epistêmico (KELLY, 2008), ou seja, um aprendiz individual, mas como uma comunidade constituída por vários aprendizes que, compartilhando as diversas práticas socioculturais, se influenciam mutuamente e assim constroem novos contextos histórico-culturais (SILVA, 2011).

Os contextos educativos são sempre marcados pela presença de alunos, professores e objetos mediadores (livros, conceitos, cadernos, experimentos, etc.), e todos estes elementos se influenciam mutuamente. A mudança de foco descrita no parágrafo anterior permite que os pesquisadores analisem o papel dos alunos, professores, objetos mediadores, regras, comunidade, divisão de trabalho, produção e compartilhamento de significados, como elementos fundamentais para análise da atividade dos sujeitos em contexto de aprendizagem, assim como para o estudo de sua evolução ao longo do tempo.

Nas sessões seguintes, apresentamos os elementos que constituem a atividade humana, segundo esta perspectiva, e como ela pode contribuir para compreender a aprendizagem de conceitos científicos em contextos escolares. Iniciamos com uma breve descrição histórica da origem e evolução desta perspectiva, segundo Engeström (1996; 2001), que a divide em três momentos (ou gerações) como exposto a seguir.

## 1.2. As três gerações da Teoria da Atividade

A primeira geração da Teoria da Atividade é marcada pelos trabalhos de Lev Vygotsky. Embora o autor não tenha trabalhado diretamente com o conceito de atividade, alguns princípios de sua abordagem dos problemas do desenvolvimento e aprendizagem humana são fundamentais para Teoria da Atividade tal como a entendemos atualmente (WERTSCH, 1981).

Inspirado nos trabalhos de Engels e Marx, Vygotsky orientou sua pesquisa sob a ótica do método materialista e dialético, sendo a consciência o objeto fundamental de investigação. Segundo o autor, a consciência humana se constitui nessa experiência social e histórica com outros sujeitos sendo, portanto, forjada pela intersubjetividade. Nesta perspectiva, ao longo da história da espécie humana – que tem o trabalho como principal responsável pelo desenvolvimento da atividade coletiva, das relações sociais e do uso de instrumentos – as representações da realidade têm se articulado em sistemas simbólicos. Estes símbolos não são apenas designações de nomes de objetos ou pessoas, eles passam a ser signos compartilhados pelo conjunto de membros do grupo social, permitindo a comunicação entre os indivíduos, o aprimoramento da interação social e uma nova relação com o mundo, mediada por conceitos.

Esses símbolos se apresentam como representações da realidade e são socialmente definidos. É o grupo cultural onde o indivíduo se desenvolve que lhe fornece formas de perceber e organizar o real, as quais irão constituir os instrumentos psicológicos que fazem a mediação entre o indivíduo e o mundo. Neste contexto, a linguagem é considerada não apenas como sistema simbólico básico de comunicação entre os seres humanos, mas ainda como um artefato indispensável para a formação das funções mentais superiores, que incluem memória lógica, atenção voluntária e formação de conceitos.

O entendimento dos sistemas simbólicos está relacionado à cultura em que o sujeito está imerso. Para Vygotsky, a cultura não é pensada como um sistema estático ao qual o indivíduo se submete, mas como uma espécie de “palco de negociações” (sendo o próprio “palco” negociado), em que seus membros estão num constante

movimento de recriação e reinterpretação de informações, conceitos e significados (Oliveira 1993).

Estando o sujeito imerso num ambiente de significações construídas numa determinada cultura, o processo de construção de conhecimento e o desenvolvimento de cada indivíduo se realiza nas interações sociais. Assim, nessa organização social e cultural encontram-se as possibilidades de produção de significados que alicerçam os processos de humanização e subjetivação dos indivíduos.

O conceito de mediação apresentado em seus trabalhos (VYGOTSKY, 1978) possibilitou a superação da relação direta entre estímulo (S) e resposta (R), sugeridos pela psicologia behaviorista. As relações entre estes passaram a ser compreendidos com a necessária mediação de artefatos socioculturais. A mediação pode acontecer tanto pelo uso de signos, entendidos como uma atividade interna dirigida para o controle do próprio sujeito, ou pelo uso de instrumentos, estes por sua vez são orientados externamente para intervenção na natureza. Wertsch (1998) minimiza a separação entre as ferramentas psicológicas ou culturais e as ferramentas materiais, argumentando que o uso dos instrumentos não modifica apenas o mundo material, mas ainda a estrutura do pensamento humano.

Engeström (1996) argumenta que a inserção dos artefatos culturais mediacionais para estudar as ações humanas pode ser considerado a primeira geração da teoria da atividade. Os objetos passaram a ser entendidos como entidades culturais e o estudo das ações que orientam o uso destes objetos passaram a ser a chave para estudos da psique humana.

Uma limitação da primeira fase da TA estaria relacionada ao fato da unidade de análise permanecer no indivíduo. A ideia de atividade propulsionou estudos que deslocavam o foco de análise para as complexas inter-relações entre o sujeito individual e sua comunidade (ENGESTRÖM, 2016).

Ainda segundo o autor (ENGESTRÖM, 2001), a segunda fase da Teoria da Atividade teria origem nos trabalhos de Alexei N. Leontiev sobre a atividade humana. Leontiev superou a limitação da teoria de Vygotsky, que se atinha apenas aos artefatos mediadores para explicar a relação entre o sujeito e o objeto do conhecimento. A atividade humana, segundo Leontiev (1981), tem natureza coletiva, e

está orientada a um fim consciente, um estado de necessidade, denominado como objeto da atividade. Cada atividade está condicionada à existência de um objeto, não sendo possível haver atividade sem um objeto. Os trabalhos de Leontiev, também embasados nas teorias marxistas, mudaram o foco de análise, passando a ser a atividade humana a unidade de análise. A atividade humana não era entendida apenas como comportamento externo, ela estaria intrinsecamente conectada à consciência humana (WERTSCH, 1985).

No primeiro capítulo de seu livro “Concept of Activity in Soviet Psychology”, Wertsch (1981) faz uma exposição para a comunidade anglo-saxônica dos elementos constituintes da Teoria da Atividade, tal como proposta por Leontiev. Tal sistematização tem como foco fixar problemas de traduções e interpretações, muitas delas equivocadas, segundo o autor. Wertsch elegeu alguns pontos centrais da teoria da atividade até então, tais pontos ilustram com clareza os principais avanços advindos da segunda fase da Teoria da Atividade.

O primeiro ponto apresentado por Wertsch é o fato de que a Teoria da Atividade poder ser analisada em diferentes níveis. O primeiro nível, chamado de atividade, é guiado pelo objeto da atividade, que lhe determina a direção; o objeto da atividade é seu motivo real. Toda atividade é gerada por uma necessidade ou um motivo, que pode ser tanto externo quanto ideal, implícito ou explícito. Uma atividade não pode existir sem um motivo, e caso este esteja oculto, cabe ao pesquisador realizar uma investigação afim de encontra-lo. O segundo nível é o das ações, que são os componentes fundamentais da atividade. As ações são guiadas por uma série de objetivos ou metas para que a atividade seja concluída. Por fim, o terceiro nível é o das operações. As operações são as formas pelas quais as ações são realizadas e dependem das condições de sua realização.

Para exemplificar como os três níveis se articulam dentro de uma situação qualquer, Leontiev (1981a) apresenta o exemplo de uma pessoa com a necessidade de se alimentar. Nesse caso, a necessidade que move a atividade do sujeito é a fome, estaria aí seu motivo; porém, para satisfazer sua necessidade de se alimentar ele deve realizar ações, estas por sua vez não estão conectadas diretamente com um objetivo, a obtenção de alimentos. Para obter alimentos, é preciso compor um conjunto de procedimentos, tais como a pesca. Assim, a atividade de obter alimentos

se desdobra na ação de fabricar instrumentos de pesca e em uma série de operações que, quando executadas em conjunto, compõem essa ação.

Um outro exemplo, mais próximo ao universo da sala de aula, seria a realização de uma atividade em grupo para responder a um problema. Suponhamos que o motivo pelo qual os estudantes aceitam o desafio é realizar uma atividade de maneira satisfatória. Eles deverão eleger uma série de ações, com seus respectivos objetivos específicos, para realização da atividade. Por exemplo, ao se preparar para a atividade, os estudantes podem realizar a ação de ler livros ou selecionar materiais relevantes. As formas pelas quais os estudantes irão atingir os objetivos, ou seja, como ele irão operacionalizar as ações, são denominadas operações. Por exemplo, considerando a ação de se preparar para a atividade de leitura do livro texto, as operações serão os modos de leitura, que poderão ser realizadas como simples leitura direta, ou usando marcações, extração de trechos relevantes, anotações, construção de esquemas, mapas conceituais, leitura em voz alta, dentre outros.

Esses três níveis de análise da atividade humana permitem aos pesquisadores analisar diferentes situações de execução de tarefa sob uma variedade de pontos de vista. A identificação do surgimento das tensões e modificação da atividade, só é possível por meio da análise das operações, ações e alteração do objeto da atividade, ou seja, o acompanhamento sistemático da atividade e sua evolução deve considerar a análise dos três níveis da atividade.

O segundo ponto apresentado por Wertsch envolve a noção de metas ou objetivos. As ações são sempre norteadas por objetivos conscientes, e uma mesma ação pode ter diferentes objetivos para o indivíduo e/ou para diferentes pessoas. Por exemplo, a resolução de um exercício para um aluno pode ter como objetivo a aprendizagem, para outro apenas a finalização de uma tarefa, ou obtenção de pontos para aprovação. Segundo a perspectiva da TA, a característica de formular, realizar e modificar objetivos conscientemente é um traço distintivo da atividade humana. Paula e Moreira (2014), afirmam que:

“Quando o sujeito tem consciência da relação entre o objetivo de uma ação específica da qual ele participa e o objeto/motivo coletivo da atividade, ele compreende que sua participação na ação é uma maneira de concretizar, parcial e paulatinamente, o objeto/motivo coletivo que dá sentido à atividade.

Por sua vez, quando inexistente tal consciência, o sujeito tende a atribuir um objetivo à ação que está dissociado dos objetivos atribuídos pelos outros sujeitos da atividade para essa mesma ação.”

Como terceiro ponto, Wertsch discute o fato de toda atividade ser mediada. Tal abordagem também tem origem nos trabalhos de Marx e Engels, quando estes autores argumentam sobre o uso dos instrumentos e ferramentas como condutores e facilitadores do trabalho humano. Wertsch (1991) discorre sobre a relação estreita entre ferramentas materiais e culturais, uma vez que o manejo e alteração das ferramentas materiais altera não somente o mundo físico como também a consciência humana.

Os pressupostos vigentes até então possibilitaram o surgimento da terceira e atual geração da Teoria da Atividade. Engeström (2001) aponta para a necessidade de se desenvolver ferramentas conceituais para entender o diálogo, no sentido de compreender as múltiplas perspectivas e redes de significação que ocorrem entre sistemas de atividade. Surgem então iniciativas tal como a de Wertsch (1991), introduzindo as ideias de Bakhtin (1986) sobre dialogismo, expandindo assim o referencial de Vygotsky; o trabalho de sobre aprendizagem expansiva (ENGESTRÖM, 2001), dentre outros.

A Teoria da Atividade começa a receber atenção e se destacar a partir da década de 80, mas é marcante sua expansão apenas na década de 90. Roth (2004) argumenta que o baixo interesse inicial na Teoria da Atividade se deve à dificuldade do contato dos pesquisadores com a literatura russa. Ainda segundo Roth (2004), o aumento no número de citações na década de 90 se deu pela disseminação da tradução em inglês da obra *Activity, Consciousness and Personality* (LEONTIEV, 1981B) e principalmente pelos trabalhos de Yrjö Engeström. Apesar da Teoria da Atividade ter se disseminado pelo mundo, a proposta de expansão apresentada por Engeström (1987) foi a que teve maior acolhida na comunidade acadêmica (ROTH, 2004), sendo também a vertente principal que fundamenta esta pesquisa. Dada a relevância de sua pesquisa tanto como referencial teórico quanto referencial de análise de nossos dados, apresentamos na próxima sessão, em maiores detalhes, alguns dos principais pontos de sua teoria.

### 1.3. Engeström e a Teoria da Atividade

*“Qualquer teoria da aprendizagem deve procurar responder às seguintes questões: (1) Quem são os sujeitos da aprendizagem, como eles são definidos e localizados?; (2) Por que eles aprendem, o que os leva a realizar tal esforço?; (3) O que eles aprendem, quais são os conteúdos e resultados de sua aprendizagem?; (4) Como eles aprendem, quais são as ações principais ou os processos de aprendizagem? (ENGESTRÖM, 2001, P. 1).*

Engeström (2001) inicia seu artigo apresentando sua visão sobre o que uma teoria deve buscar responder caso se interesse em compreender o fenômeno da aprendizagem. As quatro questões apresentadas pelo autor são ancoradas nos fundamentos da Teoria da Atividade. Pensar em quem são os sujeitos da atividade, como eles estão definidos e localizados, parte do princípio de que a aprendizagem não é deslocada da sociedade, tampouco indiferente a questões culturais e situacionais. O sistema de atividade do sujeito está sempre conectado a outros sistemas de atividades por meio de pelo menos um de seus elementos. Precisamos acompanhar as ações dos sujeitos, uma vez que o sistema de atividade além de estar relacionado com outros sistemas, está também em constante mudança, na busca por uma nova posição de estabilidade.

Na Figura 1, apresentamos a representação triangular de um sistema de atividades genérico utilizada por Engeström (1987), para analisar a atividade tanto de um sujeito quanto de um grupo de pessoas. Nesse modelo, cabe ao pesquisador definir a perspectiva de análise que será trabalhada (ENGETRÖM e SANNINO, 2010).



elementos da atividade. A divisão do trabalho retrata tanto os aspectos horizontais do trabalho laboral quanto aspectos verticais, que incluem as relações de poder e *status* entre os membros da comunidade. Por fim, as *regras* são o conjunto de convenções, normas, regulamentos, padrões, leis, sejam elas implícitas ou explícitas, que regem e limitam as ações na atividade.

A representação triangular proposta pelo autor, por vezes é criticada por não salientar a natureza dinâmica das atividades, uma vez que os elementos se constituem e se reconfiguram ao longo de seu desenvolvimento, embora mantenha uma certa estabilidade ao longo da história (ARAÚJO E KAWASAKI, 2013). Sobre isso, Engeström (2013) argumenta que a representação visual é útil principalmente por carregar a ideia de que os elementos da atividade se influenciam mutuamente, e que estes modelos, tanto a representação triangular de Vygotsky e Leontiev, quanto a que Engeström propõe (Figura 1), são ferramentas poderosas, principalmente para operacionalizar a teoria na prática.

Em seu formato original, o triângulo proposto por Engeström (1987, 2001), ancorado em princípios da teoria marxista, se dedicava a analisar as relações dialéticas entre consumo, valor de troca e valor da mercadoria. Nas últimas décadas este referencial vem sofrendo diversas adaptações na busca por sua ressignificação para compreensão de situações educacionais.

Pontelo (2009) propôs uma adaptação no modelo descrito de Engeström (1987). Os termos produção, consumo, distribuição e troca, mais adequados às atividades laborais, foram reestruturados. A produção passou a ser entendida como ações de elaboração de conhecimentos científicos, que são mediados pela utilização dos artefatos, e que também estão subordinados às regras, à comunidade e a divisão do trabalho. As relações de consumo, distribuição e troca, foram substituídas por relações de compartilhamento entre os integrantes da comunidade. A Figura 2, apresenta o diagrama proposto por Pontelo (2009).



Figura 2 - Diagrama do sistema de atividade (ENGESTRÖM, 1987) adaptado por Pontelo (2009)

Silva e Mortimer (2016), ao investigarem o desenvolvimento de uma atividade investigativa em um curso de ensino superior, cujo estudo foi centrado na observação das práticas epistêmicas dos estudantes, propuseram uma reestruturação da tríade de Engeström (1987, 2001). Os autores pontuaram que o termo consumo deve ser substituído por educação, assumindo assim que a finalidade principal da atividade nesse contexto é a construção de conhecimento científico, que envolve situações de produção, comunicação e avaliação (SILVA & MORTIMER, 2016). A Figura 3 ilustra o diagrama proposto pelos autores. A adaptação feita por estes autores é a que mais se aproxima do contexto de nossa pesquisa, na qual nos propomos a analisar um ambiente de ensino marcado pela produção de respostas, pelos estudantes, a problemas conceituais em Física, comunicação de suas respostas por escrito e avaliação de seus trabalhos pelo professor, com retroalimentação do processo.



Figura 3 - Diagrama do sistema de atividade (ENGESTRÖM, 1987, 2001) adaptado por Silva & Mortimer (2016).

Segundo Engeström (2001), a Teoria da Atividade pode ser sintetizada a partir de cinco princípios estruturantes. O primeiro princípio é sobre a própria **atividade como unidade de análise**, que é mediada por artefatos e construída coletivamente, sempre orientada para um objeto/objetivo. As ações e operações não podem ser vistas de forma individualizada, elas devem ser analisadas dentro do coletivo. No contexto de uma atividade em grupo, em especial aquelas que ocorrem nas salas de aula de ciências, diferentes papéis são assumidos pelos estudantes (JULIO, 2007). Ações e operações automatizadas são assumidas pelos seus membros de formas diferenciadas, mas só podem fazer sentido se observadas considerando a atividade como significada coletivamente.

O segundo princípio trata dos diferentes pontos de vista e os papéis que cada um assume dentro da atividade. Cada participante carrega uma história diferenciada. Seu contato anterior com situações semelhantes o influencia dentro da atividade. Essa **multivocalidade** pode revelar tanto diferentes tradições de pensamento como também a presença de múltiplos pontos de vista e interesses. Além disso, as regras, os artefatos e as convenções trazem em si, histórias e valores que lhes foram incorporados desde seu surgimento, por meio dos mais variados usos ao longo de sua existência. Todo processo de aprendizagem coletivo exige um certo nível de avaliação do saber do outro e a negociação de sentidos.

Faz parte do princípio da multivocalidade a intercessão entre diversos sistemas de atividade, uma vez que uma dada atividade, embora considerada a menor unidade de análise, nunca se encontra isolada. Um modelo mínimo proposto para representar dois sistemas de atividade é representado pela Figura 4.

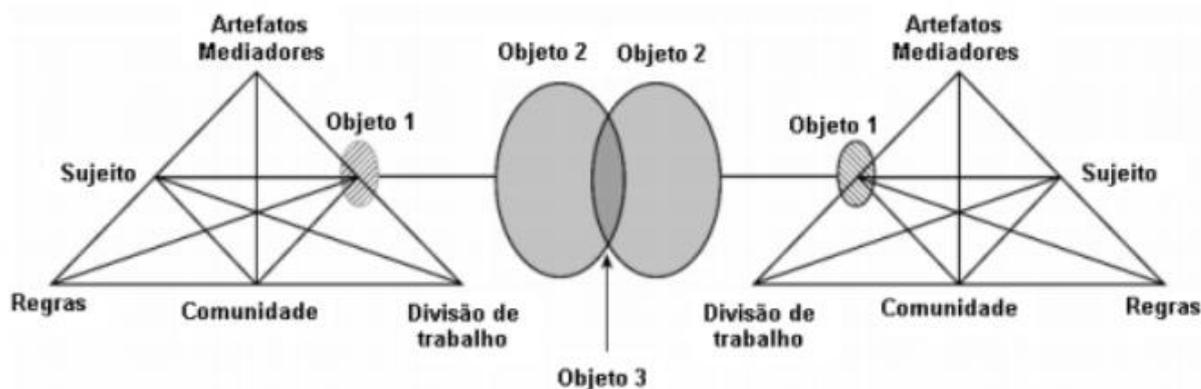


Figura 4 - Representação de um modelo mínimo de duas atividades interagindo - Fonte Engeström, 2001 p. 136.

Na representação acima, temos dois sistemas de atividade interagindo e ocasionando na emergência de um objeto compartilhado – Objeto 3. Engeström comenta que Gutierrez e coautores<sup>5</sup> utilizaram essa ideia, de interseção entre duas atividades, para explicar os eventos no discurso em sala de aula onde os mundos e roteiros aparentemente autossuficientes do professor e o horizonte conceitual dos alunos ocasionalmente se encontram e interagem para formar novos significados, que vão além das fronteiras e limites entre ambos. A ideia pode ser generalizada, expandindo para a interseção entre mais sistemas de atividade, nas quais os sujeitos podem participar de múltiplas atividades simultaneamente.

O terceiro princípio é o da **historicidade**. Um sistema de atividade é modificado ao longo de sua história, a compreensão plena de um determinado problema implica em uma investigação de sua própria história, das ideias teóricas e das ferramentas que a influenciaram e a moldaram.

<sup>5</sup> GUTIERREZ, K.D., BAQUEDANO-LO´PEZ, P. & TEJEDA, C. (1999) Rethinking diversity: hybridity and hybrid language practices in the third space, *Mind, Culture, and Activity*, 6(4), pp. 286–303.

GUTIERREZ, K.D., RYMES, B. & LARSON, J. (1995) Script, counterscript, and underlife in the classroom—Brown, James versus Brown v. Board of Education, *Harvard Educational Review*, 65(3), pp. 445–471.

O quarto princípio apresenta as **contradições** como condição de mudança e desenvolvimento da atividade. A ideia de contradição dentro da TA tem sua origem nos pressupostos marxistas cuja contradição primária surge da divisão do trabalho e estaria associada ao conceito de mercadoria, que possui uma relação tensão entre seu valor e lucro. No sistema socioeconômico descrito por Marx, a contradição primária estaria inserida dentro dos elementos da própria atividade. Além da contradição primária, existiriam as contradições secundárias, que estariam associadas a tensões entre os elementos da atividade; contradições terciárias, entre o objeto/motivo da forma dominante da atividade central com uma forma de atividade culturalmente mais avançada; e, por fim, as quaternárias, que relacionariam a atividade central com suas atividades vizinhas.

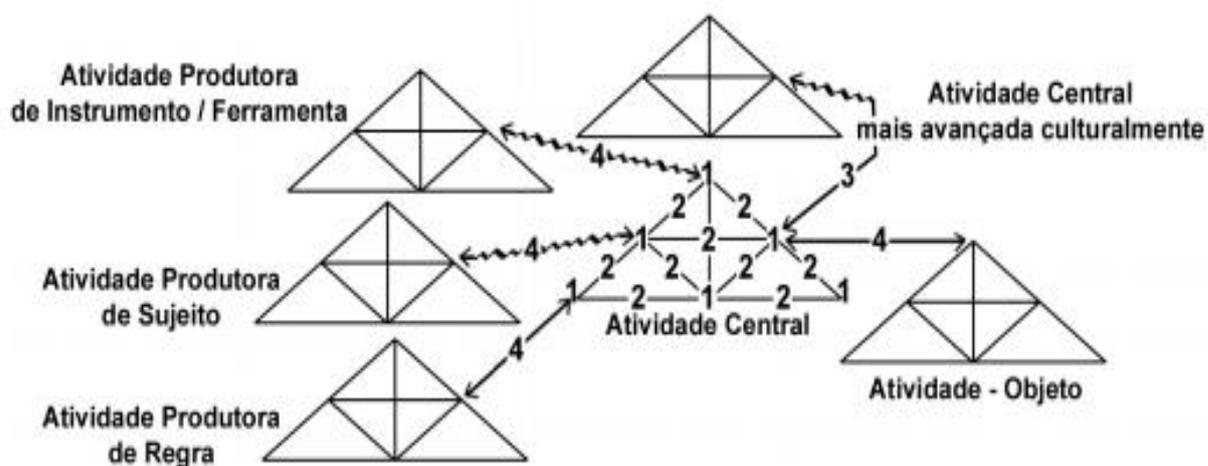


Figura 5 - Quatro níveis de contradição dentro da atividade humana  
 Fonte: Engeström, 2016.

As contradições não são meras características da atividade, elas são o motor que dá movimento a atividade. Um mesmo sistema de atividade pode conter tanto contradições internas quanto contradições entre a atividade central e as atividades correlacionadas (Figura 5).

Engeström aponta que contradições não são a mesma coisa que problemas ou conflitos, na verdade as contradições podem gerar distúrbios e conflitos. A atividade não deve ser entendida como um sistema estável, ela pode ser abalada a qualquer momento, alterando inclusive seu objeto de estudo. Novos recursos mediadores podem ser fonte de distúrbios da atividade, como apontam Moreira e Pontelo (2009)

ao investigarem o desenvolvimento de um projeto de iniciação científica, na qual os estudantes deveriam utilizar um sistema automatizado para aquisição e tratamento de dados. Nesse caso, o objetivo da atividade foi modificado devido ao distúrbio causado pela utilização da nova ferramenta de aquisição de dados, o objeto da atividade se transformou na compreensão do instrumento, e não mais na aquisição de dados.

O quinto princípio expõe a possibilidade do surgimento de **transformações expansivas** da atividade. Uma transformação expansiva é realizada quando o objeto e o motivo da atividade são re-conceitualizados para contemplar um horizonte de possibilidades radicalmente mais amplo do que no modo anterior da atividade. Em alguns casos, os estudantes fazem um esforço deliberado e intenso, coletivamente, para empreender a promoção de mudanças.

Kawasaki (2008) argumenta que o processo que Engeström utilizou para descrever as mudanças na atividade dialoga com os conceitos de internalização e externalização discutidos nos trabalhos de Vygotsky. Os processos de internalização seriam aqueles em que o indivíduo internaliza conhecimentos, valores, conceitos e significados que são constituintes de suas relações sociais. Os processos de externalização tratam do potencial criativo do ser humano, que transforma a realidade por meio da criação de novas ferramentas, sejam elas técnicas ou psicológicas. Assim, Engeström reorienta o conceito de zona de desenvolvimento proximal, utilizando também os princípios da Teoria da Atividade. As zonas de desenvolvimento proximais são entendidas pelo autor como espaços de transformação por meio da resolução ou superação de contradições internas da própria atividade. Essas mudanças na atividade podem ter dimensões variáveis, ou seja, podem incluir um ou vários de seus elementos ou, ainda, alterar o seu objeto.

Engeström (2016) argumenta que a aprendizagem expansiva proporciona o surgimento de um novo objeto, expandido o de padrão de atividade orientado a este novo objeto. Nas palavras do autor:

“A formação de um objeto expandido e seu novo modelo de atividade correspondente requer e provoca uma organização coletiva e distributiva, questionando e rompendo com as limitações da atividade existente e embarcando em uma viagem pelo terreno não explorado da zona de desenvolvimento proximal” (ENGESTRÖM, 2016 p.383)

Se para aprender é necessário mover-se na prática, torna-se necessário que se compreenda como o aprendiz realiza este movimento durante sua atividade. Engeström (1996) sugere três elementos a serem considerados durante a investigação acerca de uma dada atividade; são eles: (1) deve-se considerar como unidade básica de análise os eventos que ocorrem e os sistemas de atividades que contextualizam e dão sentido à atividade, ou seja, deve expandir a atividade para o entorno, buscando a compreensão das relações existentes entre os elementos que compõem a atividade; (2) deve-se acompanhar as alterações ocorridas durante a realização da atividade, buscando reconhecer seu dinamismo, dando lugar a uma nova configuração da atividade; (3) é necessário identificar as tensões e contradições emergentes da atividade, uma vez que estas têm o potencial de promover perturbações no sistema, possibilitando inovações, mudanças e desenvolvimento da atividade e de seus participantes.

O conceito de aprendizagem expansiva<sup>6</sup> é central nos trabalhos de Engeström, sendo este objeto de análise em suas diversas publicações. Ele articula os três princípios citados no parágrafo anterior para identificar os momentos de origem e os desdobramentos da atividade, que podem culminar na aprendizagem expansiva.

Para tal, Engeström (2016) se vale dos trabalhos de Ilienkov<sup>7</sup> e Davydov<sup>8</sup> para desenvolver seu modelo de aprendizagem baseado no método dialético de ascensão do abstrato para o concreto. A ideia é que na atividade de aprendizagem, a ideia inicial (concreto de partida) seja transformada em um objeto complexo (uma abstração), que culmina no surgimento de uma nova prática (ascensão ao concreto). A ascensão do abstrato para o concreto é fruto da realização de ações epistêmicas específicas. Engeström também considera que a aprendizagem expansiva é o movimento de ascensão do abstrato para o concreto, no qual a atividade sofre uma expansão, atingido um novo ponto de equilíbrio e, assim, criando uma nova atividade. Tal

---

<sup>6</sup> Engeström utiliza como sinônimos os termos “learning activity” e “expansive learning”, corroboramos com diversos trabalhos na literatura nacional que assume a tradução como sendo “aprendizagem expansiva”.

<sup>7</sup> ILYENKOV, E. V. *Dialectical Logic: Essays on its History and Theory*. Moscow. Pacifica, CA, USA: Progress Publishers, 1977.

<sup>8</sup> DAVYDOV, Vasilii Vasil'evich. *Types of Generalization in Instruction: Logical and Psychological Problems in the Structuring of School Curricula*. Soviet Studies in Mathematics Education. Volume 2. National Council of Teachers of Mathematics, 1906 Association Dr., Reston, VA 22091, 1990.

deslocamento é considerado pelo autor como a produção de uma atividade a partir de outra.

Engeström et al (2013), apresentam sete princípios que são atingidos ao se alcançar a aprendizagem expansiva, são eles:

1. Questionamento, crítica ou rejeição de alguns aspectos da prática ou conhecimentos vigentes.
2. Análise da prática, tal análise envolve um esforço mental, discursivo e/ou prático na busca dos mecanismos causais e práticos do funcionamento da atividade.
3. Modelagem de novas práticas, ação cujo objetivo é o de construir um modelo simplificado da nova ideia que busca a solução dos conflitos identificados anteriormente.
4. Análise crítica do novo modelo, com ações voltadas para se discutir as novas ideias, submeter a experimentações, identificando assim suas dinâmicas, potencialidades e limitações.
5. Implementação do novo modelo, tal ação visa submeter o modelo a atividade prática, enriquecendo e promovendo extensões para seu uso.
6. Reflexão e avaliação do processo de aprendizagem expansiva
7. Consolidação e generalização das conclusões em uma nova, e mais estável, atividade prática.

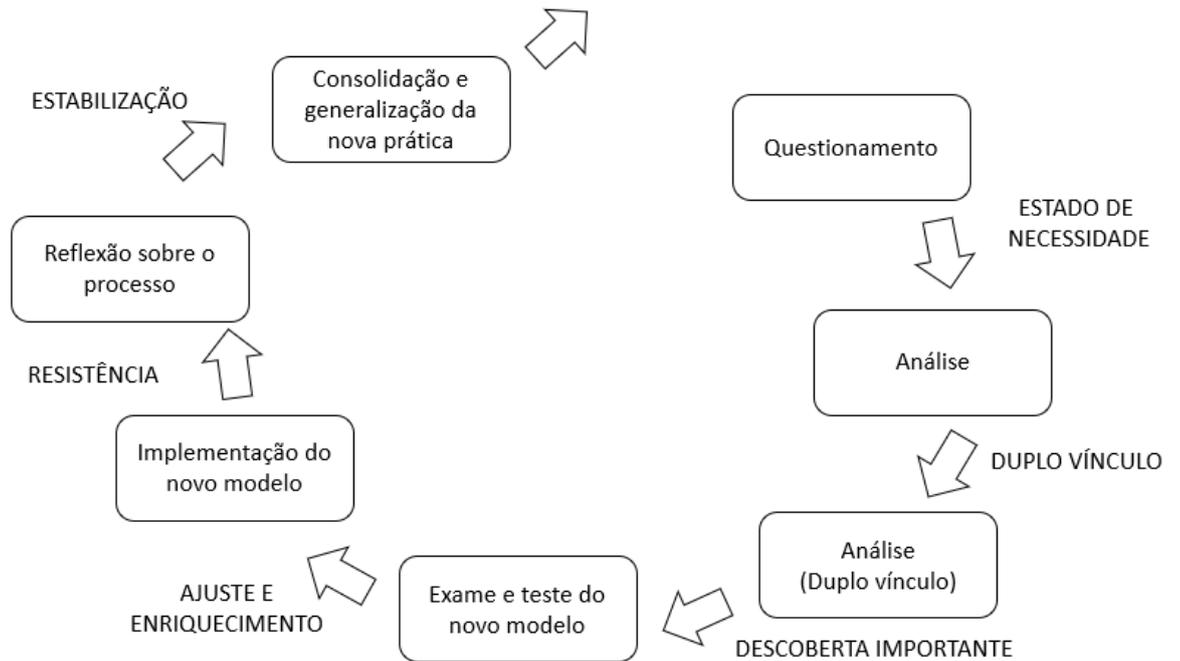


Figura 6 - Sequência de ações de aprendizado em um ciclo de aprendizagem expansiva  
 Fonte: Engeström, 2016

Esse processo pode ser visto como um movimento dos integrantes do grupo, refletindo sobre suas ações a caminhando para o nível da atividade em si, o que caracteriza uma aprendizagem expansiva. O processo de atividade pode ser completo, ou seja, pode originar aprendizagens expansivas, entretanto, não há garantia de que isso ocorra. O autor sinaliza que mesmo após identificadas contradições em suas práticas, a solução para o problema nem sempre é encontrada. A aprendizagem expansiva é um processo que necessita de contínua alimentação, com identificações de contradições e soluções das mesmas, logo, nem sempre o processo completo pode ocorrer (ENGESTRÖM 1987, 1996, 2013).

Em seu trabalho de revisão sobre como a Teoria da Atividade vem sendo utilizada, Engeström e Sannino (2010) se depararam com o termo *ciclos expansivos de ações de aprendizagem*, tal termo denota a mudança da atividade em longos períodos de tempo, processos de longa duração. Ao final de um processo expansivo, no qual a atividade tenha alcançado sua posição mais estável, um novo processo seria iniciado, dando assim a sensação de um ciclo, que apesar de se diferenciar da atividade anterior, iniciaria com a observação de uma nova tensão, gerando seus desdobramentos. Um ciclo de aprendizagem expansiva de longa duração é acompanhado de *miniciclos de potencialmente expansivos de ações de*

*aprendizagem*, e são estes miniciclos que permitem uma microanálise das atividades dentro de uma sala de aula (DAVID; TOMAZ; 2015). Os miniciclos acontecem em curtos intervalos de tempo, nos quais é possível identificar o surgimento das tensões e contradições e as articulações dos elementos da atividade na busca pela mudança do sistema, e a possível superação das demandas. Os miniciclos utilizam os mesmos princípios da aprendizagem expansiva, citados anteriormente.

A metodologia de identificação e acompanhamento dos miniciclos expansivos tem sido utilizada em diversos trabalhos voltados para análise de situações de sala de aula (SOUTO e BORBA, 2013; DAVID e TOMAZ, 2015; ENGSTRÖM, 2013). Os miniciclos expansivos são utilizados nestes trabalhos para acompanhar o desenvolvimento da atividade. David e Tomaz (2015) analisaram uma sequência de ensino que tinha como objetivo caracterizar a evolução do uso da regra de três em uma sala de aula de matemática. As autoras identificaram a ocorrência quatro miniciclos expansivos, o que permitiu revelar um conjunto de aprendizagens expansivas que vão muito além da simples aquisição dos mecanismos procedimentais de realização de cálculos.

A análise dos miniciclos de aprendizagem potencialmente expansivos é fundamental para este trabalho, na qual estamos interessados em compreender o fenômeno de surgimento das tensões no contexto da atividade de resolução coletiva de problemas conceituais em física, bem como os caminhos trilhados pelos estudantes, para superação de tais tensões.

## CAPÍTULO 2

### Procedimentos Metodológicos

Neste capítulo, iremos apresentar o desenho da pesquisa e os procedimentos metodológicos utilizados para responder às nossas questões de pesquisa. Apresento aqui um relato sucinto do ambiente de pesquisa, que envolve a descrição do ambiente investigado, as estratégias de ensino e apresentação dos sujeitos da pesquisa.

Nosso trabalho se situa como um estudo de caso, na medida em que procura compreender, explorar ou descrever acontecimentos em contextos complexos, nos quais estão envolvidos, simultaneamente, diversos fatores. Yin (2005) define “estudo de caso” com base nas características do fenômeno em estudo e com base num conjunto de características associadas ao processo de recolha de dados e às estratégias de análise dos mesmos.

O trecho abaixo, extraído do trabalho de Yin, 2005, define a nossa escolha metodológica pelo estudo de caso

*“O estudo de caso [...] é uma investigação que se assume como particularista, isto é, que se debruça deliberadamente sobre uma situação específica que se supõe ser única ou especial, pelo menos em certos aspectos, procurando descobrir a que há nela de mais essencial e característico e, desse modo, contribuir para a compreensão global de certo fenômeno de interesse.”*  
(Yin, 2005, p 12)

Nas sessões seguintes, iremos justificar nosso interesse pelo ambiente de aprendizagem investigado e nossas expectativas quanto ao alcance do estudo detalhado dos processos de resolução de problemas de física que acompanhamos nesta tese. Vale ressaltar que os eventos que analisamos neste trabalho são singulares e situacionais, sendo assim, nossa pesquisa não tem como objetivo construir generalizações a partir do estudo dos nossos dados relativos a uma sala de aula específica, como se as conclusões fossem necessariamente válidas e transferíveis para outros contextos. No entanto, a partir de um conjunto particular de resultados, estudos de casos podem gerar proposições teóricas aplicáveis a outros contextos (Yin, 2005; Alda-Mazzotti, 2006). Temos, assim, expectativa de que o estudo dos processos de aprendizagem conceitual em física, aqui retratado, possa

contribuir para inovações na construção de ambientes de aprendizagem escolar em física, no ensino superior ou mesmo no ensino médio.

## 2.1. O ambiente investigado

Para realização deste trabalho, foi necessário procurar por salas de aula que utilizam com frequência o trabalho em grupo como metodologia de ensino. A proposta inicial era de se realizar a investigação de uma sala de aula na qual o professor utilizasse a metodologia de ensino conhecida como instrução por pares<sup>9</sup>, cuja fundamentação teórica não tem grande embasamento em teorias de aprendizagem, entretanto seus resultados empíricos são coincidentes com os trabalhos que investigam a metodologia de trabalho em grupo. Tal demanda nos colocou na direção de investigar uma sala de aula do ensino superior, na qual o professor utilizava de forma consciente o método de instrução por pares. Surge assim, de forma puramente situacional, o interesse em se investigar uma sala de aula de ensino superior em uma Universidade Federal<sup>10</sup>.

No início do segundo semestre de 2015, acompanhei as aulas do professor para realizar um projeto piloto de coleta de dados, aproximando deste ambiente de sala de aula como campo de pesquisa. O primeiro problema que motivou a busca por uma nova sala de aula foi a dificuldade com relação à coleta de dados, em especial, às interações entre os estudantes. As aulas desta disciplina ocorriam em um auditório, uma vez que o número de estudantes era tão elevado que não caberia em uma sala de aula disponível no departamento. Assim, durante os momentos de interação entre os estudantes, o nível de ruído era muito elevado, dificultando a coleta dos áudios em qualidade razoável para análise. Além disso, os procedimentos para coleta de dados em áudio e vídeo seriam muito invasivos e complicados, com passagens de longas fiações e/ou montagem de um sistema de coleta de dados por rádio frequência. Outro ponto que nos deslocou desta sala de aula, foram os tipos de discussões que o

---

<sup>9</sup> O método de instrução por pares (*peer instruction*) tem sua origem nas iniciativas do professor Eric Mazur em meados da década de 90 (ver MAZUR, 1997) Seu método de ensino vem sendo amplamente utilizado por vários professores em diversos países. Trabalhos de pesquisa sobre este método apontam para sua eficácia como facilitador da aprendizagem dos estudantes, apostando na intensificação protagonismo dos estudantes em sala de aula.

<sup>10</sup> Visando o sigilo quanto a identidade do professor e dos estudantes participantes da pesquisa, não irei apresentar o nome da instituição, uma vez que tal informação pode levar a uma quebra do anonimato dos participantes.

professor propunha, muitos deles relacionados a procedimentos matemáticos, tal como métodos de integração, derivação, rearranjo de equações, etc.. Apesar de serem conhecimentos importantes para formação em Física, tal abordagem demandaria uma atenção dedicada às ferramentas matemáticas e às dificuldades dos estudantes em compreender e utilizar tais ferramentas, que não faziam parte de nossos propósitos de pesquisa.

Inseridos no contexto do departamento de Física, decidimos mudar o nosso ambiente de pesquisa para outra sala de aula do curso na qual o trabalho em grupo também é utilizado como ferramenta metodológica importante. Além disso, o número reduzido de estudantes, a configuração na qual estes grupos são organizados e o tipo de discussões que emergem neste novo contexto, se mostraram, metodologicamente, favoráveis a realização deste trabalho. Outro fator que nos chamou a atenção para essa sala de aula, é a boa avaliação da disciplina feita por estudantes que a haviam concluído. Tais estudantes demonstraram uma forte adesão com a disciplina, considerando-a importante em sua formação, além de um enorme respeito com o professor.

Ainda no segundo semestre de 2015, realizei o acompanhamento das duas turmas em andamento, com o objetivo de conhecer o ambiente desta sala de aula e testar os métodos de coleta de dados. Esta aproximação nos permitiu situar a pesquisa e enunciar mais claramente objetivos e questões, tal como apresentados no capítulo anterior.

Segundo Alves-Mazzoti (2006, p. 650), estudos de caso em pesquisa qualitativa devem apresentar “critérios explícitos para a seleção do caso e que este seja realmente um ‘caso’, isto é, uma situação complexa e/ou intrigante, cuja relevância justifique o esforço de compreensão”. Pelo exposto, o “caso” que investigamos se justifica por nosso interesse em acompanhar ambientes de aprendizagem em física em que os estudantes tenham maior protagonismo e oportunidades de interação entre os pares, desafiados por problemas de física aplicada na vida cotidiana, amparados por recursos mediacionais e regras que os encorajem a utilizar para tal as linguagens, conceitos e modos de pensar próprios da Física.

A escolha deste ambiente de pesquisa e o referencial teórico adotado (teoria da atividade) nos obrigam, por outro lado, uma atenção para os contextos mais abrangentes do curso de licenciatura em Física na instituição, de modo a situar as contradições latentes que engendram as ações dos sujeitos (professor e estudantes) nas disciplinas Física Conceitual I e II, foco de nossa análise.

A coleta de dados para esta pesquisa ocorreu no primeiro semestre de 2017, quando realizamos o acompanhamento sistemático de duas disciplinas do curso de Física – Física Conceitual I e II. Tal acompanhamento envolveu a minha imersão no ambiente de pesquisa, participando de forma passiva, sem me envolver na elaboração das aulas, ou nos diálogos que ocorriam durante o trabalho em grupo dos estudantes. Os dados coletados envolveram gravações em áudio e vídeo das aulas e coleta da produção escrita dos estudantes. Nas sessões subsequentes, descrevo em detalhes nosso sistema de coleta e análise de dados.

## **2.2. As disciplinas**

As disciplinas Física Conceitual I e II são voltadas para os estudantes de Licenciatura em Física e têm como objetivo rever e aprofundar os principais conceitos básicos de Física que podem ser abordados no Ensino Médio. Estas disciplinas estão presentes da grade do Bacharelado como disciplinas optativas. Física Conceitual I aborda os tópicos: mecânica da partícula e do corpo rígido; propriedades da matéria - sólidos e fluidos; física térmica. A segunda disciplina, Física Conceitual II, aborda os tópicos: oscilações e ondas; eletromagnetismo; óptica; física quântica; estrutura atômica e nuclear; teoria da relatividade.

No cronograma está definido o tópico de cada aula e, antes das aulas, os alunos devem ler no livro-texto o tópico indicado; para algumas aulas, o professor disponibiliza material complementar on-line para que os estudantes se preparem melhor para a aula. Ao que parece, boa parte dos estudantes cumprem essa solicitação. Durante a realização das tarefas, os estudantes fazem referências a passagens do livro, bem como efetuam tão rapidamente a tarefa de localização de figuras, tabelas e trechos no livro texto que não seria possível sem o contato prévio com o material. Além disso, em diversos momentos ouvimos os alunos declarando terem (ou não) se preparado para aquela aula.

No primeiro dia de aula, a turma é dividida em grupos de 4 a 5 alunos, e tais grupos devem permanecer inalterados ao longo de todo o semestre. Em cada aula, é entregue um questionário que deverá ser respondido pelo grupo e entregue no final da aula. As respostas às perguntas do questionário devem ser formuladas de forma a serem entendidas por estudantes do Ensino Médio. A cada aula, um dos integrantes do grupo é o relator, ou seja, o responsável pela produção escrita das respostas. Esse relator tem a pontuação nesse questionário aumentada em 50% em relação aos demais. É obrigatório haver rodízio nessa função, de forma que no fim do semestre todos tenham redigido um número similar de relatórios.

O livro Física Conceitual, de Paul Hewitt<sup>11</sup>, é utilizado como livro-texto principal, e os temas das aulas da disciplina são distribuídos com base em seus capítulos. O livro-texto se destaca, dentre outras, por trabalhar a Física de forma predominantemente conceitual; relações matemáticas são apresentadas, mas com pouco enfoque em procedimentos algébricos e resolução numérica de exercícios. Os problemas apresentados no final do capítulo seguem a lógica de continuidade de uma discussão mais voltada para a aplicação conceitual da Física na interpretação de fenômenos e processos físicos familiares aos estudantes.

Durante a aula, o professor fica disponível em sua mesa para tirar dúvida dos grupos; em diversos momentos da aula ele circula pelos grupos acompanhando o trabalho dos mesmos. Ele faz questão de sempre devolver o relatório dos estudantes na aula seguinte, o que permite que eles revejam pontos problemáticos das aulas anteriores e progridam nos próximos relatórios. Como será apresentado nos capítulos subsequentes, essa estratégia didática tem impactos significativos no trabalho dos grupos.

Após trabalharem determinados capítulos, o professor reserva uma aula para discutir as questões que se apresentaram mais problemáticas para aquele tópico de conteúdo. Nesta aula, o professor prepara uma apresentação em *Power Point*, apresentando a questão e as respostas dos estudantes que ele considerou problemáticas. Em seguida, ele apresenta a resposta esperada, geralmente utilizando

---

<sup>11</sup> Paul Hewitt (2002). Física Conceitual. Bookman.

a resposta dada por algum estudante da disciplina em semestres anteriores. Ao final da aula, ele disponibiliza a apresentação para todos.

A aula para sanar dúvidas destoa do restante das aulas, uma vez que esta é centrada na figura do professor, que utiliza predominantemente o discurso não interativo de autoridade (MORTIMER E SCOTT, 2003). Em algumas situações os alunos pedem a palavra para expressarem seus pontos de vista sobre a questão ou até mesmo levantar mais questões sobre o assunto. Embora o professor se mostre bastante receptivo a tais participações, neste momento o que predomina é o discurso científico escolar, sem espaço para consideração de outros pontos de vista. Em conversas de corredor, o professor argumenta que gostaria que a aula dedicada a esclarecimento de dúvidas fosse diferente, semelhante ao que Mortimer e Scott (2003) chamam de discurso interativo dialógico. Entretanto, ele afirma que por questão de ansiedade, e estilo de ensino, ele não consegue estruturar essa aula de tal forma.

Além do desempenho nos relatórios, provas escritas são realizadas individualmente pelos estudantes e utilizadas como métodos de avaliação. São atribuídos 40 pontos ao desempenho nos relatórios e 60 pontos ao desempenho nas avaliações individuais. Para aprovação o estudante deve obter o mínimo de 60 pontos totais e uma presença acima de 75%. Considerando como importante a participação de todos na produção do relatório a cada aula, o professor exige pontualidade no horário de chegada, sendo que atraso superior a 20 minutos é penalizado em 25% da nota no questionário, superior a 30 minutos a penalidade é de 1/3 da nota, superior a 45 minutos o relatório vale a metade, e, atraso superior a 1 hora, não é contabilizada nem a nota e nem a presença do estudante naquele dia, sendo 100 minutos o tempo total de cada aula.

### **2.3. O professor**

O professor da disciplina é efetivo do departamento de Física há mais de 20 anos, é bacharel em Física e tem mestrado e doutorado também em Física. Ele demonstra grande interesse em contribuir com pesquisas no campo da educação, tendo inclusive orientado uma dissertação de mestrado no Programa de Pós Graduação do Departamento de Física cujo tema de pesquisa era voltado para a área de ensino de física. Diversos estudantes, inclusive o autor deste projeto, foram

orientados por este professor em projetos de iniciação científica relacionados a temas educacionais.

Além de sua vasta experiência com as disciplinas de metodologia de ensino e recursos educacionais, ele participou por vários anos da equipe de elaboração de provas para ingresso na universidade, algumas vezes como coordenador da equipe. O trabalho desta equipe era orientado por uma visão mais conceitual da física, evitando-se ênfase em cálculos, sobretudo nas provas de primeira etapa.

O professor participante da pesquisa ministra as disciplinas há mais de 10 anos ininterruptos. Ao longo desses anos, ele vem acumulando um rico repertório de questões conceituais que são bastante diferenciadas das questões tratadas nas outras disciplinas do curso de Física, e que, na maioria dos casos, despertam grande interesse em seus estudantes.

#### **2.4. Os alunos**

As disciplinas são voltadas para estudantes do curso de Física Licenciatura. Entretanto, como já dito, estudantes do curso de Física Bacharelado podem participar da oferta. Apesar das disciplinas não estarem como obrigatórias em nenhuma das duas grades curriculares – Física Licenciatura e Física Bacharelado – elas contam com um ótimo público, que varia entre 15 e 25 estudantes por disciplina, demonstrando assim a aceitação pelos estudantes.

As duas disciplinas têm como pré-requisitos a conclusão de disciplinas do ciclo básico. O professor argumenta que o objetivo do curso não é apresentar novos conteúdos, e sim aprimorar a parte conceitual acerca dos temas já abordados nas disciplinas de Física Geral.

A formação dos grupos é de responsabilidade dos estudantes e deve ser feita no primeiro dia de aula e mantido até o fim do semestre. No caso do semestre acompanhado, a formação se deu por um misto de afinidade e de ordem de chegada. Antes do início da aula eu preparei a sala alocando as carteiras de forma a compor 3 grupos de até 5 estudantes; à medida que os alunos adentravam a sala de aula, eles escolhiam o grupo que iriam fazer parte. Analisando o áudio e o vídeo, podemos observar que em vários grupos os estudantes a princípio nem se conheciam. Em pelo

menos um dos grupos foi reservado uma vaga para um estudante que não pode comparecer à primeira aula e seus colegas informaram ao professor que o aluno faltante iria comparecer a partir da próxima aula. Tal distribuição contribuiu para que os grupos fossem compostos tanto por estudantes de Licenciatura quanto de Bacharelado.

## **2.5. Os questionários**

Para cada tema específico trabalhado em sala de aula, o professor tem um banco de questões que poderão ser utilizadas. A cada semestre ele seleciona algumas destas questões para comporem os questionários do semestre. Normalmente, cada questionário é composto de 7 a 10 questões discursivas. As questões que compõem o banco de dados são retiradas de fontes variadas, incluindo o próprio livro-texto; algumas são reformuladas ou adaptadas pelo professor, entretanto ele afirma não serem de sua autoria.

O banco de questões é disponibilizado para os estudantes previamente, para que eles possam ter o primeiro contato com as mesmas. Em relatos dos próprios estudantes em conversas informais e por vezes em gravadas em áudio e vídeo, os alunos deixam claro que não costumam ler as questões antes das aulas. Em um dos grupos, observei a tentativa de organização de divisão das questões do banco de questões para que os mesmos elaborassem previamente as respostas de forma individual agilizando o processo em sala de aula. Acompanhando estes grupos nas aulas seguintes, pude observar que tal proposta não foi adiante, e os estudantes resolviam as questões coletivamente durante a aula.

Como já dito, durante as aulas os alunos devem debater sobre as questões, que por sua vez são extremamente desafiadoras e o consenso nem sempre é atingido ao final. Acompanhando as aulas, podemos observar a riqueza das discussões que emergem. Os estudantes, por meio de levantamentos de hipóteses, argumentos, refutações, explicações, contraexemplos e intenso debate, tentam ressignificar as situações problemas sob vários pontos de vista. Assim, assistimos a um intenso movimento de negociação de sentidos na busca da solução que seja adequada de um ponto de vista científico escolar.

As questões trazidas pelo professor têm um forte viés da vida cotidiana. Por exemplo, em uma aula sobre a relação razão área e volume de um objeto com a dissipação de calor, o professor pergunta: “Por que o beija flor não voa tão alto quanto uma águia?” e, “Por que a águia não bate as asas tão rápido quanto um beija-flor?”.

Apesar das questões terem como foco de resposta a utilização de conceitos científicos, as discussões podem ser muito variadas, transitando entre o conhecimento cotidiano e o conhecimento científico. Mesmo se considerarmos apenas o conhecimento científico, poderíamos encontrar a utilização de conceitos diversos da física, não necessariamente os planejados para aquela aula. Por exemplo no caso da águia, a explicação poderia partir do fato dela conseguir armazenar gordura, podendo assim permanecer mais tempo no ar, possibilitando voos de maiores altitudes. Ou ainda, os estudantes poderiam considerar o fato de suas asas serem maiores e terem grande inércia rotacional se comparada com as asas do beija-flor.

## **2.6. A coleta de dados e os procedimentos metodológicos**

Temos observado, nas últimas décadas, um crescimento do interesse de pesquisas que tentam entender como se dão os processos de interação discursiva e como o conhecimento científico vai sendo trabalhado, discutido, apropriado e transformado ao longo do processo de ensino e aprendizagem (LEMKE, 1990; CANDELA, 1999; MORTIMER E SCOTT, 2003). Tais pesquisas consolidaram certos tipos de procedimentos, dentre eles a gravação de aulas, transcrição e cuidados metodológicos ao fazê-las, uso de alguns softwares, seleção de dados, referências teórico-metodológicas e proposição de categorias de análise (ver, por exemplo, Mortimer et al, 2007)

Os dados utilizados nesta pesquisa foram coletados no 1º semestre de 2017. As duas turmas eram compostas por 3 grupos, sendo que na Física conceitual I os três grupos eram formados por 5 estudantes e na Física Conceitual II tínhamos dois grupos de 5 estudantes e um grupo com 4 estudantes.

No primeiro dia de aula para as duas disciplinas o professor fez uma apresentação geral, dando início, a partir da segunda aula, ao trabalho dos grupos com a metodologia proposta. Apresentamos no anexo 1 o cronograma temático da disciplina.

Em todas as aulas destinadas a atividade em grupo, organizei a sala de forma a focar uma câmera em cada grupo, tal como pode ser exemplificado na Figura 7, na qual a foto apresentada foi extraída diretamente do vídeo capturado pela câmera direcionada a este grupo. As outras duas câmeras foram posicionadas de forma semelhante e direcionadas aos demais grupos. Em cima de cada mesa foi deixado um gravador de voz, que posteriormente passaria por um processo de tratamento de dados e seria sincronizado com o vídeo. Tal procedimento objetivou a menor interferência possível no ambiente investigado, uma vez que as câmeras foram posicionadas a uma certa distância dos grupos. A produção escrita dos estudantes foi coletada em cada aula antes da devolução para os estudantes, já constando a correção do professor. Esse dado foi captado com o auxílio da câmera do celular.



Figura 7 - Grupo 1 Física Conceitual 1 – Frente a esquerda: Diana; Frente a direita: Yara; Segundo a esquerda: Marcos; Segundo a direita: Heitor; Centro no fundo: Eduardo

A disciplina *Física Conceitual I* teve 31 aulas sendo 22 destinadas a atividades em grupo, uma destinada a atividade de abertura e aplicação do teste inicial, 6 para esclarecimento de dúvidas e duas para a aplicação da avaliação escrita. A disciplina *Física Conceitual II* teve 30 aulas, 21 delas destinadas a atividades em grupo, uma para apresentação da disciplina e aplicação do teste inicial, 5 aulas para esclarecimentos de dúvidas e 3 aulas para aplicação de avaliações escritas. Cada aula tem duração aproximada de 100 minutos.

A coleta de todos estes dados seria inviável para uma pesquisa de doutorado, uma vez que para cada aula teríamos a gravação de seis grupos, sendo assim, no total de 42 aulas destinadas a atividades em grupo iríamos gerar aproximadamente 25.200 minutos, o que equivale a 420 horas de gravação. Decidimos, então, acompanhar o trabalho de um dos seis grupos de estudantes. Nas primeiras aulas, decidi filmar todos os 6 grupos, criando assim um período de ambientação, no qual eu poderia ter informações dos grupos e criar os critérios para escolha do grupo que seria acompanhado.

O nosso primeiro critério para escolha do grupo foi o compromisso dos seus integrantes para com a disciplina. Logo no início decidimos retirar um grupo da pesquisa devido ao grande número de ausências dos estudantes, o grupo raramente trabalhava com seus 5 integrantes. O segundo grupo que decidimos não acompanhar era composto por 4 alunos, sendo dois deles estudantes de intercâmbio da Colômbia, o que dificultava muito o entendimento dos diálogos. Além disso, percebíamos que os estudantes brasileiros também tinham dificuldade em compreender o que diziam os colegas colombianos.

Neste ponto, decidi realizar a filmagem dos outros 4 grupos até o final da disciplina, entretanto apenas um deles seria utilizado nesta pesquisa. Ao analisar várias aulas dos quatro grupos, observamos que, em dois deles, a liderança de um estudante era decisiva para a execução da tarefa. Existia uma relação clara de dependência (JULIO, 2007), o que se refletia claramente no desempenho dos relatórios. Nas aulas nas quais estes estudantes não estiveram presentes em seus grupos, a pontuação do grupo reduzia drasticamente. Apesar dos fenômenos ocorridos neste grupo serem relevantes para serem estudados, optamos por buscar um grupo no qual as relações entre seus integrantes fossem mais simétricas.

A escolha de um entre os dois últimos grupos se deu pela análise do conceito de engajamento disciplinar produtivo proposto por Engle e Conant (2002). O conceito propõe indicar o alcance de envolvimento dos estudantes em temas e práticas de uma disciplina e se tal envolvimento resulta em progresso intelectual. Os autores após realizarem diversas observações de diferentes grupos de estudantes apontam seis características que indicariam um maior engajamento dos estudantes nas atividades, são elas: 1. amplo número de estudantes fornece aportes substantivos ao conteúdo

em discussão; 2. as contribuições dos estudantes estão em sintonia com aquelas apresentadas pelos colegas em turnos anteriores, sem consistirem, portanto, em comentários isolados; 3. poucos estudantes encontram-se dispersos; 4. os estudantes demonstram estar atentos uns aos outros por meio de postura corporal e contato olho no olho; 5. os estudantes frequentemente expressam envolvimento apaixonado com os temas; 6. os estudantes continuam engajados nos tópicos por um longo período de tempo.

Para que essas características expressem engajamento disciplinar é necessário que exista íntima relação entre as ações dos estudantes e questões práticas do discurso curricular ou de uma disciplina. Nessa perspectiva, o engajamento disciplinar produtivo se dá quando os estudantes incorporam a linguagem social de um determinado campo disciplinar.

Por fim, podemos considerar o engajamento como produtivo quando os estudantes fazem progresso intelectual. Os autores ponderam que a avaliação do que se considera como produtivo depende da disciplina, do conteúdo ou tema específico e, ainda, do ponto de partida intelectual dos estudantes. Os autores, em suas análises, discutem que esse progresso pode ser inferido, entre outros aspectos, pelo avanço na qualidade e sofisticação dos argumentos e pela apresentação de novas ideias e questionamentos relacionados ao conteúdo disciplinar. Em outras ocasiões, ele pode ser aparente no reconhecimento de uma confusão cognitiva por parte do estudante, pela construção de uma nova conexão entre ideias ou pelo planejamento de algo para satisfazer um objetivo.

Considerando como importante os termos que fundamentam o conceito de engajamento disciplinar produtivo para uma boa análise e por fim respondermos aos objetivos desta pesquisa, analisamos os dados obtidos dos dois grupos e contrastamos com o conceito de engajamento disciplinar produtivo. Concluímos que um dos grupos se sobressaiu em todos os pontos apresentados por Engle e Conant (2002), sendo assim, optamos por utilizar, nesta pesquisa, os dados do grupo 1 da disciplina de Física Conceitual II. O grupo escolhido era composto por duas mulheres e três homens, sendo que um dos rapazes cursava bacharelado e os outros quatro o curso de Licenciatura.

## 2.7. Procedimentos de análise dos dados

Após a organização dos registros, conforme descrito na sessão anterior, iniciamos o processo de análise dos vídeos e preparação dos dados empíricos. Primeiramente, com a intenção de conhecer o material coletado, todos os vídeos foram assistidos. Simultaneamente, foi montado um mapa de eventos para cada questão. Tal mapa foi construído com a intenção de identificar as questões que provocavam diversos deslocamentos no objeto da atividade, bem como o uso de ações e operações diversas em uma mesma questão. Dentre nossos descritores, destacamos as marcações de tentativas de respostas em uma mesma questão, intervenção do professor, dificuldade em relacionar variáveis, uso de inscrições contidas na formulação do problema ou extraídas do livro-texto, processos de modelagem do sistema, conclusões, dentre outros.

Com a intenção de compreender como se estrutura e se desenvolve a atividade em grupo de resolução de questões conceituais em uma turma de física neste ambiente de aprendizagem selecionamos para discussão, episódios nos quais os alunos articulam diferentes fontes de conhecimento para solução de questão. Nossa intenção é compreender como esses diferentes recursos mediacionais são articulados pelo grupo durante a realização da atividade.

É interessante destacar que, apesar de desejável à disciplina que todas as questões fossem debatidas entre os estudantes, algumas delas foram respondidas imediatamente após a sua leitura, sendo a solução apresentada aceita pelo grupo como resposta definitiva para a tarefa. Tais questões foram identificadas e mapeadas; entretanto, não foram utilizadas nesta pesquisa.

Neste trabalho, iremos apresentar episódios que nos permitem discutir e propor respostas a nossas questões de pesquisa, tais episódios foram transcritos com o auxílio do programa Transana, e submetidos a uma análise mais detalhada. Os processos de interação entre os estudantes são demasiadamente complexos, uma vez que suas interações envolvem a articulação de recursos mediacionais que extrapolam o registro oral. Por essa razão, vários momentos foram marcados por interações multimodais com intenso uso de gesticulação, expressões faciais, alterações de entonação, silêncios e pausas, dentre outros. Em nossas transcrições,

procuramos manter a fidelidade das falas dos estudantes. Para tanto, transcrevemos suas falas na forma como elas foram produzidas e, sempre que necessário, apresentamos ao lado da transcrição comentários que permitam ao leitor entender mais sobre o contexto no qual as falas emergiram.

Na transcrição, para tentarmos nos aproximar do registro oral, iremos utilizar o ponto de interrogação entre parênteses - (?) - para indicar uma mudança de entonação que indica um questionamento. Utilizaremos entre parênteses para indicar claramente que esta marcação é uma inferência nossa sobre os dados. Utilizaremos a barra simples (/) para indicar uma interrupção ou pausa no discurso, quando ela for menor que 2 segundos, e utilizamos duas barras (//) para o caso de uma pausa mais longa. Para o caso de pausas extremamente longas, acima de 6s, informamos entre parênteses o tempo decorrido.

## CAPÍTULO 3

### Caracterização do ambiente de pesquisa

Para a compreensão de nosso ambiente de pesquisa como um ambiente de aprendizagem, seguindo os pressupostos da TA, faz-se necessário a identificação das contradições relacionadas ao sistema de atividade. Engeström e Sannino (2011) argumentam que as contradições não podem ser diretamente observadas, é necessário um estudo longitudinal e histórico do sistema de atividade, cuja identificação só é possível quando elas – as contradições – se manifestam.

Conforme detalhado em nosso referencial teórico, um sistema de atividade sempre está relacionado a outros sistemas dos quais os sujeitos tomam parte. A ferramenta desenvolvida por Engeström e seu grupo de pesquisa possibilita que um ajuste de foco seja feito, fazendo em certos momentos um *zoom in* na atividade para analisá-la individualmente e um *zoom out* para abranger outros sistemas de atividade.

No caso de nossa pesquisa, dependendo da lente que fizermos uso para análise dos dados, poderemos identificar a tentativa de superação, pelos sujeitos, de determinados tipos de contradição. Por exemplo, podemos dar um *zoom out* nessa sala de aula e relacionar as atividades que acontecem ali como uma iniciativa para melhoria na formação dos professores de física para a educação básica, de modo a produzir mudanças substantivas na física que é ensinada e como é ensinada. Por outro lado, podemos dar um *zoom in* e acompanhar o processo de trabalho em grupo dos estudantes e suas tentativas em superar as dificuldades que emergem no processo de negociação de sentidos, uma vez que tal dinâmica – trabalho em grupo com questões conceituais, contextualizadas e relativamente abertas – é uma novidade no curso de física.

Com a intenção de entender melhor nosso ambiente investigado, identificando as tensões e contradições que emergem na disciplina acompanhada, realizamos entrevistas com os participantes com o objetivo compreender as razões que motivaram o professor a propor a criação da disciplina investigada, assim como as razões e expectativas dos estudantes ao cursá-la.

Na primeira sessão, apresentamos diversos elementos apontados pelo professor que o levaram a criar as disciplinas de Física Conceitual, sendo que diversos desses elementos apontados pelo professor, encontram-se em ressonância, ou não, com as expectativas e interesses apontados pelos estudantes em suas entrevistas. Na segunda sessão, apresentamos trechos das entrevistas nos quais os participantes discorrem sobre a metodologia de ensino empregada na disciplina. Na terceira sessão, expomos nossa interpretação sobre as tensões e contradições que permeiam a atividade investigada. Por fim, na última sessão, ajustamos nossa lente de análise, para delimitar nosso sistema de atividade.

### **3.1. Da origem à consolidação da física conceitual**

A graduação em Física, tanto na modalidade Licenciatura quanto no Bacharelado, na instituição participante da pesquisa, possui uma grade curricular composta por um conjunto de disciplinas básicas de física, chamadas de fundamentos de física, que estão presentes nos 4 primeiros períodos do curso – Mecânica; Eletromagnetismo; Oscilações, Ondas & Óptica; Teoria da Relatividade; Termodinâmica. Além destas disciplinas, tanto o curso de Bacharelado quanto a Licenciatura, possuem neste ciclo básico disciplinas experimentais de física e disciplinas básicas do núcleo da matemática. Nos períodos iniciais a diferenciação entre as duas modalidades de graduação em física é a inserção de disciplinas da área de educação, no caso da Licenciatura, e de disciplinas um pouco mais aprofundadas no campo da matemática no curso de Bacharelado. A partir do 5º período da graduação inicia-se no chamado ciclo profissionalizante no qual, além de disciplinas de física, os alunos da Licenciatura realizam seus estágios e as disciplinas de didática e metodologias de ensino. No caso do bacharelado, no ciclo profissionalizante os alunos se matriculam em disciplinas de física com intenso aprofundamento teórico e matemático.

As disciplinas de Física Conceitual I e II estão inseridas como optativas no ciclo profissionalizante, tanto para Licenciatura quanto para o Bacharelado. Estas disciplinas, tal como foram dadas na ocasião da coleta de dados, tiveram origem no

ano de 2006, sendo o Professor<sup>12</sup> investigado o idealizador das disciplinas e único professor dela até então. Durante a entrevista, quando questionado sobre os motivos que o levaram a criar as disciplinas, ele argumentou da seguinte maneira:

Tabela 1 - Entrevista com o Professor: Trecho 1

**Professor:** *Mais ou menos em 2002 e 2003 tinha um professor aqui na Física / que ele deu um tópico chamado Física Conceitual / eu não sei exatamente o que ele fazia nesse tópico de FC mas a ideia dele era mais ou menos semelhante a minha / ele gostava muito do livro do Arons<sup>13</sup> / você conhece o livro do Arons (?) é um livro referência tá / ... / ele ofertou uma disciplina de Física Conceitual / acho que ele ofertou dois semestres / e os alunos ficaram pedindo até a continuação / mas ele não fez isso / ai ficou acho que tipo um ano sem isso / e os alunos que estavam fazendo metodologia comigo viram e falaram assim / a gente precisa de uma disciplina dessas porque o que vocês nos ensinam é resolver os problemas do Halliday e chega dentro de sala de aula e os meninos fazem umas perguntas que a gente não sabe responder / entendeu (?) / não é o problema / aqui faz a continha aqui / não era isso / ai nessa coisa de eu dando a metodologia eu conheci essa / eu peguei o curso que esse professor dava e olhei / e ai eu fui montando o meu curso / eu usei muito material dele / ai tem esse artigo da Lillian McDermott<sup>14</sup> que eu gosto muito / como ensinamos e como os alunos aprendem um desencontro / mostrando que a gente ensina de um jeito e os alunos aprendem de outra / lá tem muitas coisas interessantes, mas uma das coisas que ela foca muito é que tem que ser um ensino participativo / coisa que o aluno tem que ficar parado na sala de aula / quando ele está passivo isso é extremamente improdutivo / ai eu também / nessa época / uma coisa que eu utilizava lá em metodologia era o negócio do Mazur / do Eric Mazur / que era aquela coisa do Peer Instruction / que era aquela coisa que / opa / coloca os meninos para conversar que um aprende com o outro / ele tem uma entrevista que ele dá para a gazeta de física que é muito legal que ele fala que o aluno consegue entender a dificuldade conceitual do outro aluno muito mais fácil que o professor / porque o professor já está longe disso / os conceitos já estão muito fixados na cabeça dele então aquelas dificuldades conceituais que os alunos têm / um colega as vezes entende / ah tá você está pensando assim / mas não pode ser assim / sabe essas coisas / ... / ai eu queria uma dinâmica da sala de aula que tivesse / o aluno tivesse que participar / ele não ia ficar parado / e ele tivesse a interação um com o outro / então foi isso / a origem foi essa.*

<sup>12</sup> Os nomes dos participantes foram suprimidos e substituídos por nomes fictícios, utilizarei o nome “Professor” iniciado com letra maiúscula em substituição do nome verdadeiro do professor participante da pesquisa.

<sup>13</sup> ARONS, A. B. Teaching introductory physics.

<sup>14</sup> A autora do trabalho é professora no Departamento de Física da Universidade de Washington, Seattle, EUA, e há vários anos estuda as questões relacionadas com a aprendizagem da Física. O artigo citado foi publicado, a convite, na revista American Journal of Physics (volume 61, n. 4, abril de 1993, página 295) - <https://doi.org/10.1119/1.17258> acessado em 20/09/2018.

Ficam claras as motivações do professor em propor uma disciplina com inovações em termos do tratamento dado aos conteúdos de física (abordagem conceitual em detrimento de procedimentos matemáticos) e, ainda, na metodologia de ensino (maior protagonismo dos estudantes, trabalho em grupos e colaboração entre pares). Autores como Arnold Arons, Lilian McDermott e Eric Mazur são citados como fontes de inspiração para a oferta e montagem das disciplinas, além de Paul Hewitt, autor do livro-texto adotado.

No início de seu turno de fala, o Professor deixa claro que a ideia inicial sobre a disciplina emergiu a partir da experiência de outro colega do departamento. A ideia de se construir uma disciplina que permitisse uma discussão conceitual sobre os assuntos tratados na física, em detrimento aos procedimentos tradicionais de raciocínio ancorados em aplicações de relações e equações matemáticas, teve uma ótima aceitação por parte dos estudantes. Tal como relatado pelo Professor, foram os próprios estudantes que participaram da disciplina, e que posteriormente foram seus alunos em metodologia de ensino de física, que sugeriram que mais disciplinas como essa – física com abordagem mais conceitual - fossem adicionadas ao currículo de física, uma vez que, segundo suas concepções e experiências, a demanda que eles enfrentariam enquanto professores de física do ensino médio estariam mais próximas das abordagens que foram utilizadas na disciplina de FC.

Entre os alunos de Licenciatura em Física, é quase que geral a insatisfação com relação às primeiras disciplinas do curso, uma vez que, por vezes, há um grande distanciamento entre a expectativa dos estudantes com relação ao curso e o contato com uma abordagem matemática e formal da física. Como indica a fala da aluna Diana, não se trata de tornar a Física mais fácil deixando a matemática de lado, mas em ser desafiada por uma física “de verdade” que estimule nos estudantes a curiosidade e interesse em compreender o mundo e os fenômenos.

Tabela 2 - Entrevista com a Diana: Trecho 1

*Diana: Física Conceitual é um espetáculo / a matéria lá que faz a gente pensar de verdade em física mesmo /... / porque é aquilo que eu estava esperando do curso de física sabe / eu não estava esperando que fosse um tanto equação / conta / de coisa / parece que tá tudo sabe / as coisas não faziam muito sentido pra mim nas outras aulas não / eu ia fazendo o que era necessário pra sobreviver / mas assim / é / estudava o suficiente porque era o que eu dava conta / Física Conceitual*

*me deixava curiosa / ... / eu acho assim também pelo menos / fica muito distante disso nas outras disciplinas / .. / é um curso muito difícil né / eu entendo / eu acho assim / que Física Conceitual é um tipo de matéria que vai deixar quem é / quem vai pra física / perfil de gente que vai pra física é gente curiosa / gente que gosta de ser desafiado / mas assim / eu acho que esse tipo de desafio que a física propõe muito mais legal pra quem acabou de sair do ensino médio foi pra universidade / é um tipo de desafio muito mais instigante e motivador pra ficar na física do que aprender aquele tanto de coisa maluca lá / aprender a resolver derivada parcial / entendeu ((?)) / acho que assim / pra quem foi pela física / por física / gostava de desafio / pode ser que encontre o desafio né / não foi meu caso / prefiro uma coisa tipo física conceitual*

Nesse sentido, a proposta da criação da disciplina surge do reconhecimento, tanto por parte do professor quanto de seus estudantes, de uma tensão inerente a estrutura do curso de Licenciatura em Física, uma vez que a formatação de ensino que é praticada ao longo do curso se distanciaria das necessidades de formação docente no contexto de preparação do licenciando para atuação na educação básica (ensino fundamental e médio).

Além da preocupação com a melhor formação conceitual dos estudantes, podemos observar no primeiro trecho de sua entrevista, que o professor se mostra incomodado com as metodologias de ensino empregadas na graduação em física, que, em geral, não possibilitam grande protagonismo durante as aulas aos estudantes. Tal como ele coloca, é importante que o estudante esteja ativamente envolvido com o processo de ensino - *“quando ele está passivo isso é extremamente improdutivo”*. É importante salientar e enaltecer tanto o reconhecimento do professor sobre necessidade de mudança nas metodologias de ensino tradicionalmente utilizadas nos cursos de graduação em física, quanto a sua disposição em buscar outras metodologias de ensino que proporcionem maior envolvimento dos estudantes, demonstrando assim seu comprometimento com a melhoria da qualidade de formação de seus estudantes.

Outro ponto discutido pelo professor no primeiro trecho é a importância da discussão entre os alunos para a aprendizagem de física. Ele cita trabalhos publicados pelo professor Eric Mazur com relação a efetividade das discussões entre os pares ao resolverem problemas de física. Tal efetividade poderia estar relacionada, dentre outros aspectos, ao fato dos estudantes poderem estar passando por conflitos conceituais semelhantes, os quais poderiam não ser compreendidos pelo professor,

uma vez que este já teria uma formação conceitual sólida e tão amplificada que poderia estar muito distante da concepção dos estudantes.

Diante desse contexto, o Professor decide criar duas disciplinas dedicadas a uma discussão conceitual dos temas de física. Essas disciplinas foram pensadas como oferta para os estudantes de Licenciatura em Física com o objetivo rever e aprofundar os principais conceitos básicos de física que podem ser trabalhados no ensino médio. O conteúdo programático da FC I envolve o estudo das áreas de mecânica da partícula e do corpo rígido, propriedades da matéria - sólidos e fluidos - e física térmica. A segunda disciplina, Física Conceitual II, aborda as áreas de oscilações e ondas, eletromagnetismo, óptica, física quântica, estrutura atômica e nuclear e teoria da relatividade.

Alguns professores do departamento e alunos defendem que seria interessante a inserção da disciplina de FC nos períodos iniciais do curso de Física, entretanto encontra-se situada como optativa para os últimos períodos e exige como pré-requisito a conclusão das disciplinas do ciclo básico. Sobre essa sugestão o Professor argumenta:

Tabela 3 - Entrevista com o Professor: Trecho 2

**Professor:** eu acho que assim / na formação do licenciado ela é importante / e eu acho que foi até uma demanda / vários alunos falam assim / o Professor eu acho que isso tinha que ser obrigatório / uns falam que tinha que ser obrigatória no início do curso / mas no início do curso é outra disciplina não é essa que eu dou / se você olhar os problemas lá que a gente analisa e a / vamos chamar assim / a velocidade que os temas são abordados / o tempo que é dedicado / isso não é para quem está vendo no início do curso / é para quem já fez fundamento / tá / que já fez fundamentos de mecânica / disciplinas básicas já foram feitas / então ai ele consegue andar naquele ritmo e aproveitar / se fosse a primeira vez era outra disciplina / então é isso

As disciplinas são voltadas para estudantes do curso de Física Licenciatura, entretanto, como já dito, estudantes do curso de Bacharelado também podem se matricular como disciplinas optativas. Apesar das disciplinas não estarem como obrigatórias em nenhuma das duas grades curriculares – Física Licenciatura e Física Bacharelado – elas contam com um ótimo público, que varia entre 15 e 25 estudantes por semestre, demonstrando assim a aceitação da disciplina pelos estudantes. O

Professor relata que praticamente todos os estudantes que se formaram em licenciatura na última década fizeram a disciplina.

Atualmente o curso de Física está passando por uma reforma curricular para se adequar, dentre outras, às novas exigências curriculares nacionais, incluindo o aumento de carga horária nos cursos, em especial, aos currículos de cursos de licenciatura. Na nova estrutura curricular proposta para o curso de licenciatura na instituição as duas disciplinas de FC serão incluídas como obrigatórias no currículo. No caso do bacharelado houve uma realocação da física conceitual no grupo de disciplinas optativas de menor prioridade, uma vez que, segundo a concepção do corpo docente do curso de física, faz parte de uma boa formação de um bacharel em física cursar disciplinas avançadas, tais como: mecânica 2, eletromagnetismo 2, introdução a física do estado sólido, astrofísica, dentre outras. Como, atualmente, no curso de bacharelado são exigidos dos estudantes a realização de apenas 4 optativas, seria então desejável que eles optassem pelas disciplinas avançadas de física, por isso a FC estaria como opção de baixa prioridade, ou seja, ela não poderia ser utilizada para contemplar as 4 optativas obrigatórias do curso de Bacharelado.

Apesar de reconhecer que a disciplina de FC beneficia também os estudantes do Bacharelado, o Professor concorda com o fato de ela não estar na grade curricular do curso como obrigatória ou optativa de maior prioridade. No trecho 3 da entrevista com o Professor, apresentado a seguir, ele apresenta seus argumentos e descreve a diferença relativa ao desempenho sentida por ele entre os alunos do bacharelado e da licenciatura que participam da disciplina.

Tabela 4 - Entrevista com o Professor: Trecho 3

**Pesquisador:** *E porque você acha que essa é uma demanda mais da licenciatura que do bacharelado(?)*

**Professor:** *Tem muitos alunos do bacharelado que fazem e gostam / falam ah que disciplina boa / a maioria faz só uma delas / são raros os que fazem duas / raros não / mas eu falo assim menos da metade faz as duas / mas tem um grupo expressivo de alunos que fazem / e que gostam / eles têm dificuldades / mas sem dúvida tem menos que os alunos da licenciatura / e eles aprendem muito no curso / e eles falam assim / está me levando a pensar em coisas que eu nunca tinha pensado / mas eles tem uma / talvez devido a terem feito mais coisas / por exemplo / você pega a parte de mecânica / os alunos de licenciatura fizeram somente fundamentos e o bacharelado eles já fizeram a mecânica*

*1 / Mecânica 2 / Eletromagnetismo mais avançado / claro que nessas disciplinas você não está preocupado muito com o conceito / existe uma grande preocupação com o formalismo / mas essa grande preocupação com o formalismo ajuda você ter / quando cutucado / a pensar nos conceitos / ta certo(?) / então assim / tem os alunos do bacharelado e normalmente eles vão melhor na disciplina / esse alunos são os que se destacam nas discussões*

Todos os estudantes entrevistados afirmaram que seria importante incluir a FC como obrigatória tanto para o curso de Licenciatura quanto para o Bacharelado, a opinião deles pode ser resumida pelo trecho 1 da entrevista com a Yara, e o trecho 1 da entrevista com o Eduardo que apresento a seguir.

Tabela 5 - Entrevista com a Yara: Trecho 1

*Yara: Eu acho sim / você tem que entender o conceito / você tem que entender o que você está fazendo / antes de fazer a conta / antes de provar alguma coisa você tem que entender / eu vejo isso no bacharelado que eu estou acompanhado o pessoal / eu vejo isso muito claro / eles fazem a conta chegam em um resultado mas e aí? / o que significa essa função? Ou como que a gente chegou aí? O que significa esse resultado? / eu vejo isso muito / as vezes nem os professores / eles ficam meio assim sabe / de responder mesmo /*

Tabela 6 - Entrevista com o Eduardo: Trecho 1

*tipo assim / se você não sabe os conceitos direito é porque você não sabe aquela matéria direito / você decorou a forma de resolver o exercício / você tem a lista de exercícios que os professores passam e a prova dela vai ser baseada na lista de exercícios / aí você decora como que resolve / aí você vai e faz a prova / mas você nem entendeu o conceito / igual eu falei / porque você está fazendo aquilo para resolver o exercício / os professores aqui nem se preocupam em passar isso / e as vezes lá você está resolvendo o exercício que você entendeu e / tá / eu decoro isso e faço igual na prova / então eu acho que você não aprende os conceitos / então na aula de FC como você não vai ter o apelo da matemática você tem que se virar com os conceitos lá que às vezes estão em bases frágeis / ... / eu acho que seria interessante sim colocar como obrigatória no bacharelado*

Na ocasião, Yara estava matriculada na disciplina de Eletromagnetismo 1, disciplina obrigatória na grade do curso de Bacharelado e optativa na grade curricular da licenciatura. Ela deixa evidente a sua inquietação com relação a forma como os temas de física são tratados nas disciplinas que ela cursa da grade do Bacharelado. As análises, segundo ela, são embasadas na manipulação algébrica de equações e as discussões são situadas nas formas de se resolver matematicamente o problema. Tal como coloca a aluna, nem sempre é dada atenção devida a interpretação física

dos processos e dos produtos. Sua fala corrobora com a afirmação que o Professor faz no trecho 3 de sua entrevista – “*claro que nessas disciplinas você não está preocupado muito com o conceito / existe uma grande preocupação com o formalismo*”.

Eduardo demonstra em sua fala uma inquietação quanto à forma metodológica adotada em outras disciplinas do curso, e faz uma crítica ao fato de ser possível se sair bem em uma avaliação mesmo sem entender a parte conceitual. Segundo ele, o principal foco na avaliação dessas disciplinas é a capacidade do aluno em reproduzir procedimentos sistematizados de resolução de exercícios. Suas experiências o levaram a crer que mesmo no Bacharelado há uma deficiência com relação a aprendizagem conceitual, e finaliza sua fala se posicionando a favor da obrigatoriedade da FC também para o Bacharelado.

É marcante na fala tanto do Professor quanto dos alunos entrevistados, que a FC desempenha um papel diferenciado de outras disciplinas do curso em relação à forma de abordagem e ao nível de aprofundamento dos temas estudados. Nas transcrições apresentadas, pode-se observar a insatisfação dos estudantes com relação ao excesso de atenção ao formalismo matemático nas disciplinas do curso de Física em detrimento do entendimento dos conceitos e teorias. Os alunos expressam a sua vontade de discutir Física com um enfoque mais conceitual sobre os temas que são abordados nas disciplinas do curso. Essa queixa é especialmente relevante para os alunos da Licenciatura que estão se formando para serem professores, e que possivelmente atuarão na educação básica. A busca por uma formação conceitual sólida é um dos alicerces da FC. No trecho 4 da entrevista com o Professor, apresentado a seguir, fica claro a preocupação do professor com relação à formação dos licenciandos.

Tabela 7 - Entrevista com o Professor: Trecho 4

**Pesquisador:** *O que você acha que essa disciplina tem de diferente de outras disciplinas do curso?*

**Professor:** *Tem muita diferença / quase todas as disciplinas teóricas do curso são tipo cuspe e giz / são aulas expositivas / algumas aulas expositivas que são muito boas / que os alunos gostam muito ... / o enfoque dessas disciplinas é muito no formalismo / nosso curso aqui a maioria dos professores tem a preocupação com o formalismo / como eu falei quando a gente fazia prova comum eu queria colocar questões conceituais e todo mundo só com probleminhas tá*

**Pesquisador:** *Você acha que um dos objetivos dessa disciplina seria suprir essa lacuna?*

**Professor:** *Não é só suprir a lacuna / minha preocupação não é só suprir essa lacuna / minha preocupação é maior que isso / eu acho que a maioria dos alunos que a gente forma vai dar aula espelhada no que ele teve aqui / tá(?) / na hora que ele vai dar aula espelhada no que ele teve aqui / ele chega lá no ensino médio com o formalismo / não tem o menor sentido no ensino médio porque os meninos tem dificuldade com a matemática / então quando você vai dar cinemática lá no primeiro ano do ensino médio / você coloca aquelas equações de cinemática / os meninos não sabem o que é função / como é que você vai colocar aquelas equações de cinemática se eles não sabem o que é função ainda direito / ... / não tem sentido você apresentar as equações da cinemática no início do ensino médio / então tem uma forma de apresentar a cinemática que é com / tem situações que são situações que não precisam das equações da cinemática / mas os conceitos estão lá / ... / vamos ensinar essa física ao invés de ensinar a física que tem na maioria dos livros / então vamos tentar ensinar no ensino médio / vamos tentar tirar essa matemática do ensino médio / vamos mostrar que é possível fazer coisas não triviais / não é ficar ensinando uma física superficial não tá / ... / então eu quero sinalizar um pouquinho para eles assim / quando vocês formarem o que é que vocês vão fazer / da para ser feito algo interessante e significativo*

Mais uma vez, identificamos na fala do Professor uma inquietação com relação às metodologias que são empregadas em outras disciplinas do curso, que giram em torno de aulas expositivas, centradas na figura do professor, nas quais a principal ferramenta de ensino é o quadro negro – “*quase todas as disciplinas teóricas do curso são tipo cuspe e giz*”. Ele utiliza inclusive a expressão “cuspe e giz” para descrever essa metodologia, este termo é comumente utilizado de forma pejorativa para descrição de aulas tradicionais. Observamos que sua intenção na disciplina de FC é, também, quebrar essa dinâmica tradicional de ensino e colocar os estudantes para trabalharem em conjunto – “*coloca os meninos para conversar que um aprende com o outro*”, favorecendo o aumento do protagonismo dos estudantes nas atividades que são desenvolvidas dentro da sala de aula.

No trecho 4 de sua entrevista, o Professor sinaliza sua principal motivação ao criar as disciplinas FC I e II: por meio delas ele pretende mostrar aos futuros professores que é possível tratar a física de modo inteligente e desafiador sem apelar para o formalismo matemático. Ele parece se apoiar em resultados de pesquisas sobre formação de professores que mostram a tendência dos docentes em reproduzirem (“espelhare”) em suas aulas os modos como foram ensinados, incluindo ênfases curriculares (no caso, ênfase na estrutura formal da física, expressa em linguagem matemática) e metodologias de ensino (aulas expositivas seguidas por

listas de exercícios). O Professor espera que as disciplinas FC I e II sinalizem outras possibilidades de ensino de física e, assim, tenham repercussão nas práticas docentes desses futuros professores. Os estudantes parecem compartilhar esses mesmos objetivos e expectativas, como pode ser destacado no trecho 1 da entrevista com o Marcos:

Tabela 8 - Entrevista com Marcos: Trecho 1

*eu achava as questões apropriadas / eram coisas interessantes de se pensar / porque muitas estavam colocadas algumas situações cotidianas / ai você consegue extrapolar o pensamento para outras situação / e tipo assim / levar / em diversos momentos eu cheguei por exemplo / sendo da licenciatura / olha para aquilo dali e pensar sei lá / eu posso fazer tal aplicação diferente em sala de aula / por exemplo pensar em tal contexto e experimento para os alunos /*

Apesar de interessante a realização de uma investigação detalhada sobre como as atividades desenvolvidas nas disciplinas de FC impactam na prática docente desses futuros professores, é um objeto de pesquisa que extrapola nossos objetivos para este trabalho. Deixamos assim, o estudo desse tema para trabalhos futuros.

Outro ponto a destacar como inovação que pode ter repercussão nas práticas docentes dos futuros professores é a dinâmica de trabalho em pequenos grupos, adotada como principal orientação metodológica das disciplinas de FC. Para tal, as disciplinas contam com regras e recursos mediacionais próprios, que estruturam e orientam a atividade dos grupos.

### **3.2. As questões, a produção do relatório e o retorno dado pelo professor**

Para cada tema específico trabalhado em sala de aula, o professor tem um banco de questões que podem vir a ser utilizadas. A cada semestre ele seleciona algumas destas questões para compor os questionários da aula. Normalmente, cada questionário é composto de 7 a 10 questões discursivas. No trecho 5 da entrevista com o Professor, apresentado a seguir, ele descreve como o banco de questões surgiu e como ele vem sendo continuamente incrementado.

Tabela 9 - Entrevista com o Professor: Trecho 5

*Pesquisador: Qual o critério que você usa para escolher suas questões?*

*Professor: Inclusive eu tenho algumas que eu selecionei em uma determinada época e depois eu vi que isso não tem nada a ver / a primeira coisa foi pegar questões do Paul Hewitt e aí o que eu ia fazer / tem muita questão do PH que eu falei / não essa não vou colocar porque essa é trivial / uma forma de seleção do PH foi essa / isso é muito trivial / as que eu não considerei trivial / quase todas estão lá / de vez em quando eu olho e vejo assim / essa questão deveria estar / então ainda estou / a coisa ainda não está fechada / aí eu andei olhando outros livros / vários outros livros / livros variados / aí eu ia pegando / eu tenho uma experiência de fazer questões de vestibular / então tem algumas questões que eu achei legais / questões interessantes que a gente usou em vestibular / então eu coloquei lá também / opa / essa questão aqui é legal também / então tem questões desse tipo / ... / teve uma vez que eu participei de uma banca de um concurso para professor / aí um dos professores sugeriu uma questão / eu falei oh que questão legal / a questão está lá / eu copiei e coleí / então assim / é fazer um acervo mesmo de questões e coisas assim.*

Como as disciplinas de FC serão inseridas na grade de licenciatura como obrigatórias, elas deixarão de ser uma oferta realizada pelo Professor e será sistematicamente oferecida pelo curso de Física. Atualmente, o Professor conta com uma bolsista do pró-noturno para o auxiliar na organização e expansão do banco de questões conceituais, permitindo que outros professores possam utilizar seu banco de questões para ministrar a disciplina. Coincidentemente a bolsista que auxilia o professor atualmente é a estudante Yara, participante desta pesquisa.

O banco de questões de cada capítulo é disponibilizado para os estudantes previamente, para que os mesmos possam ter o primeiro contato com as questões. Em relatos feitos pelos próprios estudantes nas entrevistas, e em conversas informais, por vezes, gravadas em áudio e vídeo, os alunos disseram que não costumam ler as questões antes das aulas. Alguns afirmaram que, dada a quantidade de tarefas de outras disciplinas, não conseguiam disponibilizar tempo para responder às questões antes da aula. Outro diziam que preferiam deixar para debater com os colegas, como colocado pelo aluno Marcos no trecho a seguir:

Tabela 10 - Entrevista com o Marcos: Trecho 2

*Pesquisador: E vocês tinham acesso às questões antes da aula / vocês tentavam responder antes?  
Marcos: eu lia algumas / a princípio eu começava assim a ler as do livro / depois as do Professor / mas assim eu não me preocupava de verdade / eu via que eu tinha dificuldade / que eu não sabia / mas meu pensamento era assim / a se ela cair amanhã a gente discute / e geralmente ela estava / ... /*

Em um dos grupos, observei a tentativa de organização com a divisão das questões do banco para que os mesmos elaborassem previamente as respostas de forma individual, agilizando o processo em sala de aula. Acompanhando estes grupos nas aulas seguintes, pude observar que tal proposta não foi adiante, e os estudantes resolviam as questões coletivamente.

As questões continham claramente uma pergunta de física, entretanto a forma de perguntar, em geral, acontecia de forma contextualizada, com forte viés na vida cotidiana e permitia que múltiplas estratégias fossem utilizadas na busca por sua solução. Do ponto de vista científico-escolar, todas as questões possuíam resposta única. Tal como o Professor coloca no trecho 6 de sua entrevista, apresentado a seguir, as questões exigem que os estudantes pensem na física de uma forma mais conceitual.

Tabela 11 - Entrevista com o Professor: Trecho 6

*Professor: Tem uns que falam assim / olha você está mostrando para nós que a gente não sabe física / porque tem algumas questões básicas que eles nunca pensaram naquilo / e / ta certo / tem uma questão que é logo no início do curso / no primeiro capítulo / você joga uma bola para cima né / sobe e desce / levando em consideração a resistência do ar ela demora mais tempo para subir ou para descer? / então essas coisas assim eles vão aprendendo / eu acho que a maior coisa na disciplina é aprender a pensar dessa forma conceitual / não é mais aquela coisa de que fórmula eu vou utilizar aqui / não tem mais fórmula não / vamos pensar no que está acontecendo / está questão para eles é uma / é de uma dificuldade / ta certo / então eles estão aprendendo isso / ou outra que é assim bem fundamental /*

Comumente as questões solicitavam que os estudantes fizessem estimativas, suposições razoáveis, estabelecessem condições de contorno e limites de validade. A nosso ver, as questões possibilitavam uma intensa mobilização dos diversos tipos de conhecimento produzidos na sociedade, por meio do uso intenso de diferentes

recursos mediacionais, sejam eles teorias científicas ou não, artefatos mediadores, experiências, concepções alternativas, dentre outros. Tal como iremos apresentar na próxima sessão, as questões apresentadas pelo professor têm um grande potencial de gerar discussões muito ricas do ponto de vista científico-escolar, possibilitando que os estudantes trabalhem dentro da zona de desenvolvimento proximal e expandam, colaborativamente, seu conhecimento sobre os conceitos de física.

Tanto entre os estudantes entrevistados quanto os outros estudantes que cursaram as disciplinas, e que frequentemente as comentam em conversas informais, é praticamente unânime o sentimento de que as questões são muito boas do ponto de vista da aprendizagem em física. É muito comum se observar em suas falas uma admiração pelas questões e dinâmica de trabalho adotadas nas disciplinas de FC. A título de exemplo, apresentamos, a seguir, dois trechos das entrevistas que corroboram com nossa afirmação.

Tabela 12 - Entrevista com a Diana: Trecho 2

*Douglas - o que tinha nessas questões que eram instigantes / que motivassem os alunos ((?))*

*Diana - assim / exatamente / a primeira coisa que vem na minha cabeça foi a falta de dependência de matemática / mas eu sei que é muito mais que isso / mas a primeira coisa que vem é isso / tipo assim / é logico / se você entende as relações entre as coisas / você consegue juntar as peças do quebra cabeça que vão fazer com que você dê uma resposta / e acho que também isso de não ter uma resposta absolutamente certa que / bons argumentos / acho que isso né / você discute / propõe boas discussões / são perguntas que dão pano pra manga pra você discutir física /*

Tabela 13 - Entrevista com o Marcos: Trecho 3

*Eu sempre cito que todo mundo faz Fundamentos de Mecânica / Mecânica / mas ai você pergunta uma coisa do questionário que era da mangueira do bombeiro / por que é pior se a mangueira estiver enrolada que se a mangueira estiver esticada / e ai tipo assim / todo mundo teve muita dúvida para responder em Física Conceitual I e essa era uma resposta simples mas que a gente tenta extrapolar o pensamento e ai / dá para responder muito tranquilamente / eu não sei mas eu gosto muito da disciplina*

O processo de produção do relatório é um outro desafio da disciplina, no qual os alunos devem propor respostas curtas às questões com nível de aprofundamento equivalente aos utilizados em salas de aula do ensino médio. As respostas são elaboradas, em geral, sem a utilização de expressões matemáticas, muito embora

algumas relações estão muito relacionadas ao conceito, por exemplo a expressão da força resultante como sendo o produto da massa e a aceleração. Obviamente o conceito de força resultante é muito mais amplo que o expresso por esta relação matemática, entretanto o Professor não restringe o uso de expressões nas respostas. Além disso, para a solução de algumas questões faz-se necessário o uso de equações ou relações de proporcionalidade. Sobre essa tarefa de produzir uma explicação escrita sobre determinada questão, a aluna Yara tece o seguinte comentário:

Tabela 14 - Entrevista com a Yara: Trecho 2

*É / escrever é muito complicado / as vezes assim acontecia muito do tipo / a gente discutia a questão / e agora como é que eu vou passar isso / tem que redigir alguma coisa que dá para entender / as vezes eu não conseguia organizar aquilo / na escrita mesmo / as vezes era errado / estava errado / mas / eu pensava certo mas não conseguia escrever aquilo / é falta de prática mesmo / que também vem desde o ensino médio / como a gente não escrevia física / escrevia física ((risos)) / só fazia conta mesmo / e continua assim quando a gente entra na faculdade / é falta de prática talvez mesmo*

A cultura de resolução de exercícios de física encontrada nos livros textos do ensino superior (e também no ensino médio) não exige que os estudantes sistematizem em palavras suas respostas. Na coleção de livros texto do Sears e Zemansky<sup>15</sup>, comumente utilizado nos cursos de Fundamentos de Física, é sugerido em seu prefácio uma estratégia para resolução de problemas de física (ver Figura 8) que parte da Identificação dos conceitos relevantes e das variáveis alvo do problema, em seguida ele sugere a seleção das equações que serão utilizadas. O terceiro passo seria a solução matemática do problema. Por fim, ele sugere que seja uma análise para avaliar se o resultado faz sentido. Ainda em seu prefácio, o livro argumenta que sua intenção ao apresentar tal estratégia é atender às necessidades dos estudantes que já consideram ter compreendido os conceitos, entretanto não conseguem resolver os problemas.

<sup>15</sup> SEARS, E. ZEMANSKY–YOUNG E. FREEDMAN. Volumes 1, 2, 3 e 4 – Editora Pearson Education do Brasil, 2003.

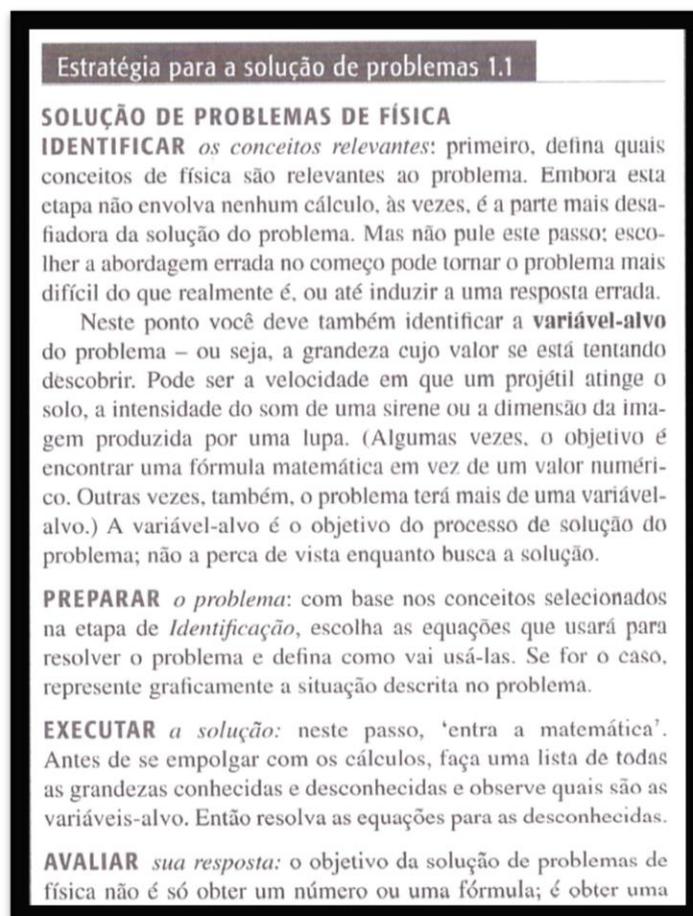


Figura 8 - Figura extraída do prefácio do livro de Física 1 do Livro Sears e Zemansky 12ª edição. Mesmo em edições posteriores, o último parágrafo encontra-se incompleto.

Em outros livros, encontramos orientações semelhantes. Por exemplo, a coleção de Fundamentos de Física do Halliday e Resnick<sup>16</sup>, também bastante utilizado nas disciplinas básicas de Física no ensino superior, apresenta uma sequência de passos a serem seguidos pelos estudantes ao resolverem os problemas propostos, tais como: a identificação de ideias chave, solução matemática do problema, e avaliação do resultado.

A última sessão nesses dois livros apresenta respostas aos problemas propostos, estas são geralmente uma sequência de resultados numéricos ou de frases curtas, tal como apresentado na Figura 9.

<sup>16</sup> Walker, Jearl. "Fundamentos de física." São Paulo: LTC(2002).

### Capítulo 7

**T** 1. (a) diminui; (b) permanece a mesma; (c) negativo, nulo  
2. (a) positivo; (b) negativo; (c) nulo 3. nula  
**P** 1. (a) positivo; (b) negativo; (c) negativo 3. são todas iguais 5. são todos iguais 7. *b* (trabalho positivo), *a* (trabalho nulo), *c* (trabalho negativo), *d* (trabalho mais negativo)  
**9.** (a) *A*; (b) *B* **PR** 1. (a)  $5 \times 10^{14}$  J; (b) 0,1 megaton de TNT; (c) 8 bombas 3. (a)  $2,9 \times 10^7$  m/s; (b)  $2,1 \times 10^{-13}$  J 5. (a) 2,4 m/s; (b) 4,8 m/s 7. 20 J 9. 0,96 J 11. (a)  $1,7 \times 10^2$  N; (b)  $3,4 \times 10^2$  m; (c)  $-5,8 \times 10^4$  J; (d)  $3,4 \times 10^2$  N; (e)  $1,7 \times 10^2$  m; (f)  $-5,8 \times 10^4$  J  
13. (a) 1,50 J; (b) aumenta 15. (a)  $62,3^\circ$ ; (b)  $118^\circ$  17. (a) 12 kJ; (b) -11 kJ; (c) 1,1 kJ; (d) 5,4 m/s 19. (a)  $-3Mgd/4$ ; (b)  $Mgd$ ; (c)  $Mgd/4$ ; (d)  $(gd/2)^{0,5}$  21. 4,41 J 23. 25 J 25. (a) 25,9 kJ; (b) 2,45 N 27. (a) 7,2 J; (b) 7,2 J; (c) 0; (d) -25 J 29. (a) 6,6 m/s; (b) 4,7 m 31. (a) 0,90 J; (b) 2,1 J; (c) 0 33. (a) 0,12 m; (b) 0,36 J; (c) -0,36 J; (d) 0,060 m; (e) 0,090 J 35. (a) 0; (b) 0 37.  $5,3 \times 10^2$  J 39. (a) 42 J; (b) 30 J; (c) 12 J; (d) 6,5 m/s, eixo +x; (e) 5,5 m/s, eixo +x; (f) 3,5 m/s, eixo +x 41. 4,00 N/m 43.  $4,9 \times 10^2$  W 45. (a) 0,83 J; (b) 2,5 J; (c) 4,2 J; (d) 5,0 W 47.  $7,4 \times 10^2$  W 49. (a)  $1,0 \times 10^2$  J; (b) 8,4 W 51. (a) 32,0 J; (b) 8,00 W; (c)  $78,2^\circ$  53. (a)  $1 \times 10^5$  megatons de TNT; (b)  $1 \times 10^7$  bombas 55. -6 J 57. (a) 98 N; (b) 4,0 cm; (c) 3,9 J; (d) -3,9 J 59. -37 J 61. 165 kW 63. (a)  $1,8 \times 10^5$  ft·lb; (b) 0,55 hp 65. (a) 797 N; (b) 0; (c) -1,55 kJ; (d) 0; (e) 1,55 kJ; (f) *F* varia durante o deslocamento 67. (a) 1,20 J; (b) 1,10 m/s 69. (a) 314 J; (b) -155 J; (c) 0; (d) 158 J 71. (a) 23 mm; (b) 45 N 73. 235 kW 75. (a) 13 J; (b) 13 J 77. (a) 0,6 J; (b) 0; (c) -0,6 J 79. (a) 6 J; (b) 6,0 J

Figura 9 - Respostas às questões do capítulo 7 do livro Fundamentos de Física, volume 1, Halliday e Resnick, 8a edição. P. 344

Alguns livros, tal como o do Sears e Zemanky apresentam uma sessão, antes dos problemas, de questões conceituais, entretanto, estas questões não são comumente utilizadas pelos professores, principalmente nas avaliações, tal como pontua Marcos no trecho 4 de sua entrevista. Talvez por isso, alguns livros têm removido essas questões de suas edições mais novas, como por exemplo no livro de fundamentos de Física do Halliday e Resnick. O Professor, no trecho 7 de sua entrevista, comenta que sente falta das questões conceituais nos livros e afirma que utilizava tais questões em suas avaliações nos cursos de Física Geral.

Tabela 15 - Entrevista com Marcos: Trecho 4

A gente está mais acostumado com exercício e problema / então a gente não tem muitas questões conceituais de fato que a gente de fato precise discutir e pensar / normalmente a gente segue um algoritmo / não é uma regra / mas a maioria das disciplinas é assim / principalmente nas avaliações / tudo que tem um caráter avaliativo acaba caindo em problemas / as vezes eles tentam durante uma aula ou durante alguma coisa no moodle uma coisa mais conceitual / mas ai chega na hora da prova / tem um problema ali

Tabela 16 - Entrevista com o Professor: Trecho 7

Eu comecei a dar aula no ensino superior / e foi dando aulas de física geral / e a gente usava naquela época muito o livro do HALLIDAY / aquelas edições antigas do livro Halliday tem umas coisas que sumiram nas versões novas que são / tinha questões e problemas / e nas questões ele tinha questões muito boas / e algumas dessas questões eu peguei e ainda vou achar mais / que hoje eu só tenho as edições novas do Halliday e não tem mais essas questões / e eu gostava muito / e era uma coisa assim / era um lado que eu usava essas questões e a gente as vezes fazia provas para várias turmas e eu sempre queria colocar as questões / as provas sempre tinham algumas questões do Halliday lá ou alguma coisa com esse foco

Tal como pontuou Marcos, no trecho acima, ao longo do curso eles são habituados a resolver problemas cuja solução é centrada na manipulação algébrica de equações e cujas respostas são normalmente expressas por um número. Nesse sentido, a tarefa de redigir uma resposta em um formato textual e explicativo, direcionados a estudantes do ensino médio, é uma tarefa bastante, gerando assim um novo ponto de tensão na atividade. Tal como será apresentado nas sessões a seguir, há um intenso movimento por parte dos estudantes durante a atividade, e por vezes, com o auxílio do professor, de tentativa de superação dessa tensão.

Durante a correção dos relatórios, além da verificação se a explicação dos estudantes está coerente com a perspectiva científico-escolar, o professor tenta sinalizar se o nível de aprofundamento e os métodos explicativos estão coerentes com a proposta da disciplina. Em diversos casos observamos nos relatórios o professor utilizando palavras como “sucinto” ou “prolixo”, indicando aos estudantes uma incompletude ou um excesso em suas explicações. No semestre que acompanhamos, não observamos indicações feitas pelo professor em suas correções sobre qual seria a resposta mais adequada, apenas marcações com “X” ou sinalizações de insatisfação. Sobre a forma de correção Marcos faz a seguinte consideração:

Tabela 17 - Entrevista com o Marcos: Trecho 5

Era bom porque era rápido / não era aquele tipo de coisa que / eu cometi um erro e ia demorar tanto tempo para saber qual que foi o erro que eu vou ficar repetindo ele até o que o primeiro fosse entregue / não / eu fiz aqui / enquanto estou fazendo o segundo primeiro já era entregue / quando eu for escrever de novo aquilo ali já estava em mãos e com certeza eu já tinha revisado / eu não sei / algumas coisas do tipo / sucinto e a penas sucinto não me dá muita informação sobre o que eu deveria adicionar / e se não tivesse ela na aula de dúvidas eu nunca saberia o que eu deveria melhorar / porque a gente não responde querendo ser ruim / a gente acha que estava respondendo

bem / então / talvez alguma informação a mais ao corrigir / tipo assim / mais discussão nessa parte / e tal / ... / sobre a correção eu acho enfim / que ele poderia detalhar mais as coisas

Nesse trecho, Marcos fala sobre a estratégia do professor de entregar os relatórios corrigidos na aula seguinte. Segundo o Professor, essa agilidade na entrega dos relatórios corrigidos é uma estratégia para permitir que os estudantes repensem sobre suas respostas e discutam entre si, uma vez que ainda estariam recentes a lembrança das questões e das discussões. Além disso, a adequação das respostas aos objetivos da disciplina poderia ser revista pelos estudantes, minimizando assim a repetição de erros em relatórios posteriores.

Durante sua correção, o Professor selecionava algumas questões que haviam gerado maiores dúvidas entre os estudantes, tais questões seriam discutidas *a posteriori* em uma aula dedicada ao esclarecimento de dúvidas. Esta aula acontecia geralmente após a finalização de uma unidade temática, por exemplo, após as quatro aulas dedicadas a discussão dos três capítulos de ondas. Nas aulas de esclarecimento de dúvidas, o Professor projetava slides contendo as questões que ele selecionou, cujas respostas dos estudantes foram consideradas por ele como problemáticas. O modelo geral dessa aula era expositivo, ele apresentava os slides e discutia a resposta com os estudantes; por vezes, ele apresentava como gabarito boas respostas provenientes dos relatórios dos próprios estudantes. O material em *Power Point* era disponibilizado para todos os alunos por e-mail.

A aula para sanar dúvidas destoa do restante das aulas, uma vez que esta é centrada na figura do professor, que utiliza predominantemente o discurso não interativo de autoridade (MORTIMER & SCOTT, 2003). Em algumas situações os alunos pedem a palavra para expressarem seus pontos de vista sobre a questão ou até mesmo levantar mais questões sobre o assunto. Embora o professor se mostre bastante receptivo a tais participações, neste momento o que predomina é o discurso científico escolar. Sobre essas aulas de esclarecimento de dúvidas, o Professor faz a seguinte observação:

Tabela 18 - Entrevista com o Professor: Trecho 8

**Professor:** essa coisa da aula expositiva / eu acho que ela é necessária mas eu / mas ela não é uma coisa que / eu não acho que ela esteja boa / eu não sei o que é / eu não sei / eu antes dava ela no quadro / não tinha apresentação no *Power Point* / ai eu vi que tinha aluno que ficava fotografando o quadro / então assim eu comecei a montar o *Power Point* / e sem dúvida rende mais / dessa forma rende mais / mas me incomoda algumas coisas / eu não consigo / eu acho que cada um tem a sua forma / eu não consigo uma participação deles / essa é uma coisa que me incomoda / nessa aula eles ficam extremamente passivos / tá / as vezes / isso depende muito da turma / as vezes tem um ou dois que você faz a pergunta e eles querem responder e eles querem discutir e outras vezes você faz a pergunta e eles estão passivos / eles não querem / naquela aula eles não querem pensar / então eles estão mais ou menos naquela postura que é criticada

O Professor reconhece a necessidade de sistematização dos questionários, uma vez que várias dúvidas são acumuladas pelos estudantes ao longo da realização da disciplina. E esta sistematização é feita nos moldes tradicionais de ensino, no qual o professor é o locutor principal e os estudantes eventualmente podem participar do discurso. Apesar de sensível à necessidade de promover dinâmicas que incentivem o protagonismo dos alunos durante as aulas, ele reconhece ainda não ter encontrado uma maneira diferente para trabalhar nessas aulas de sistematização. É interessante observar a postura deste Professor ao reconhecer a passividade dos estudantes e procurar melhorias para sua atividade. Tal como descrito no trecho 5, ele vem implementando mudanças em sua dinâmica de sala de aula, procurando solução para o que ele considera como problemático na sala de aula – a passividade dos estudantes nas aulas de sistematização dos problemas. Sobre essas aulas expositivas, Marcos teceu o seguinte comentário:

Tabela 19 - Entrevista com Marcos: Trecho 6

**Pesquisador:** o que você acha da aula de tirar dúvidas?

**Marcos:** eu não sei muito bem o que eu acho / porque a gente já tem a oportunidade de discutir com o próprio Professor sobre dúvidas / mas também a gente errava às vezes feliz / a gente escrevia / achava que estava certo e não estava / ai chegava na aula de tirar dúvidas e a gente discutia / eu gostava bastante porque era um espaço em que pessoas faziam perguntas ai você escutar perguntas de outras pessoas é bom / ai você pode participar também / adicionar informações / ai surgem novas dúvidas ou outras formas de responder / sei lá / eu tentava aproveitar ao máximo / enfim / eu diria que ela era uma aula mais entediante / demorava passar / mas eu achava ela

**Pesquisador:** essa aula era um pouco esvaziada / por que você acha?

**Marcos:** eu ia falar que as pessoas não vinham / eu não sei porque / eu sempre vinha / se eu faltasse era por algum motivo / mas preferencialmente se eu tivesse que faltar / tipo assim / se eu precisasse escolher eu faltaria a aula de dúvidas porque ela não era avaliativa / em detrimento a uma aula com um questionário

**Pesquisador:** Você acha que essa aula dava oportunidade para vocês tirarem suas dúvidas? o professor era aberto a isso?

**Marcos:** Sim / porque a gente poderia pegar qualquer dúvida mesmo que ela não estivesse contida nos *slides* / mas também era ruim porque ela era direcionada / ela já estava com as questões que ele sentiu maior dificuldade preparadas e as respostas preparadas / mas mesmo assim / por exemplo / a gente as vezes chegava em uma resposta que ele percebia que havia errado / então sempre ele fazia alterações / sempre considerava as respostas de colegas como gabarito / se ele considerava uma boa resposta ele colocava ali / eu acho que sim / era uma boa oportunidade para tirar as dúvidas / assim / ser uma boa oportunidade ser bem aproveitada são coisas diferentes / era uma oportunidade

No trecho acima, Marcos demonstra que as aulas reservadas para tirar dúvidas eram para ele muito produtivas, elas atingiam os objetivos da aula, ou seja, permitam a ele esclarecer suas dúvidas. Apesar do professor se incomodar com a postura passiva dos estudantes, todos os alunos do grupo reconheciam os objetivos dessas aulas para esclarecer dúvidas e as consideravam produtivas, mesmo admitindo a mudança significativa na dinâmica habitual dessa classe, transformando-as em aulas monótonas e com um roteiro pré-definido.

Embora os alunos reconheçam a importância dessas aulas, notamos o esvaziamento com relação à frequência dos alunos nessas aulas. A nosso ver, isso se deve sobretudo ao fato de as aulas de esclarecimento de dúvidas não serem avaliativas, além do procedimento adotado pelo professor de enviar por e-mail a síntese formulada por ele contendo respostas as questões propostas. Registramos, porém, a importância dessas aulas para aqueles que a frequentavam.

### **3.3. As contradições em nosso ambiente de pesquisa**

Segundo Engeström (2001) a contradição resulta de tensões nos e entre os elementos de uma atividade, assim como entre sistemas de atividade. A tentativa de superação das contradições internas são impulsionadoras de mudança e desenvolvimento da atividade.

Como já discutido no capítulo 1, o movimento dos sujeitos em superar as contradições inerentes ao sistema de atividade é o motor que impulsiona mudanças/transformações na atividade. Segundo o modelo expandido sobre a TA proposto por Engeström (1987), as contradições são tensões acumuladas historicamente dentro ou entre sistemas de atividades. Engeström enfatiza que um mesmo sistema de atividades pode conter numerosas contradições internas.

Diante do exposto nas duas sessões anteriores, identificamos como contradição primária de nosso ambiente de pesquisa a necessidade de se aprender física para além de solução de problemas clássicos, tal como tradicionalmente apresentado nas disciplinas de física básica, cujo excessivo formalismo matemático acaba por se revelar inoperante e sem significado para os estudantes. Observamos, tanto na fala do Professor, quanto dos estudantes entrevistados, a existência de uma lacuna na graduação em física com relação a aprendizagem e aplicação de conceitos físicos a situações mais próximas das reais, da vida cotidiana.

Denominamos contradição primária à contradição central em torno da qual se organiza a atividade que será aqui analisada, qual seja, a resolução de problemas conceituais de física no contexto das disciplinas de Física Conceitual em um curso de licenciatura em Física. A nosso ver, essa contradição remete às razões e expectativas em torno do conteúdo e metodologia das disciplinas, enquanto ação voltada para formação de professores de Física para a Educação Básica. Importante destacar que o adjetivo “primária” tem uma conotação diferente daquela empregada por Engeström (2016, p.116).

Há uma preocupação de fundo, expressa na fala dos entrevistados, com relação a formação profissional dos graduandos em física, que provavelmente se tornarão professores de nível médio, a demanda por uma formação conceitual sólida e aplicação dos conceitos em situações mais próximas do cotidiano se alinharia com as necessidades da profissão – professores de física do ensino médio. Nesse sentido, há uma relação de valor – o mercado de trabalho irá me exigir a melhor formação conceitual – e troca – eu estou disposto a me dedicar a esse tipo de aprendizagem, dada minha necessidade de remuneração e/ou vontade de melhoramento profissional – com relação a esse tipo de aprendizagem propiciado por abordagens de física conceitual.

Na nossa interpretação dos dados, nos transparece que o motivo principal que movem os sujeitos a ministrarem a disciplina – o professor – e a cursarem – os estudantes, seja a necessidade de uma melhor formação conceitual, com menor ênfase no formalismo matemático e maior atenção às aplicações da física em situações do cotidiano. Entretanto outras contradições se fazem presentes como, por exemplo, no processo de produção, negociação, avaliação e comunicação de respostas, a partir de trabalho em grupo, metodologia que não é habitualmente vivenciada por estes estudantes no curso. A metodologia de trabalho em grupo para resolução problemas conceituais faz com que emergja, nesse contexto, inúmeras tensões, entre as quais: participação em processo argumentativo, escolha conjunta de teorias e explicações plausíveis, aceitação ou contestação do ponto de vista do outro, comunicação clara de ideias, adequação de linguagem científica, etc.

O processo de produção das respostas faz emergir novas tensões, por exemplo a necessidade de produzir respostas textuais, com pouca ou nenhuma utilização de equações. Em diversos trechos das aulas analisadas ouvimos queixas semelhantes a esta: “eu sei as fórmulas, mas não sei como explicar isso com palavras”<sup>17</sup>, refletindo a tensão que emerge entre os elementos da atividade.

Outra contradição estaria no processo de comunicação de suas respostas. Talvez pela primeira vez na graduação, eles são incentivados a produzirem respostas escritas e direcionadas a estudantes do ensino médio. As regras para se interpretar o que se pode ou não conter na resposta a uma questão de física para o nível médio de ensino são muito subjetivas, e baseadas nas experiências dos participantes durante sua escolarização, e possível iniciação profissional – como monitores, estagiários ou professores de física. Como veremos no capítulo seguinte, há uma preocupação contínua dos sujeitos investigados com relação ao nível de complexidade do conteúdo que deve compor o texto final da resposta.

Outra tensão com relação ao processo de comunicação é que as respostas emergem das discussões entre os membros grupo; entretanto a resposta final é redigida por apenas um estudante. Em algumas situações, esse redator participava ativamente das discussões do grupo nas quais se chegava a uma dada solução ao

---

<sup>17</sup> Enunciado produzido por Diana durante a resolução da segunda questão da aula 3 de Física Conceitual II.

problema; em outras várias ocasiões, entretanto, o redator estava ocupado com a finalização da resposta escrita a outra questão, tendo tido uma participação periférica na discussão do grupo. Apesar disso, a nota do relatório, atribuída pela avaliação do professor, mesmo tendo peso aumentado para redator, é atribuída a todo o grupo.

Outra contradição presente na proposta metodológica reside no fato do professor avaliar apenas o texto escrito dos estudantes, não incorporando em sua avaliação o processo por meio do qual a resposta foi construída. Além disso, a disciplina conta com avaliações individuais escritas, não precedidas por discussão em grupo.

Tal como sugere a TA, dependendo do foco de análise, novas tensões e contradições podem emergir, sendo assim, consideramos importante a discussão sobre o que será considerado como sistema de atividade principal desta pesquisa, indicando sempre que necessário os movimentos *zoom out* que realizaremos, incorporando outros sistemas de atividade á nossa análise.

Definido o sistema e as relações com outros sistemas, a identificação das contradições de segunda ordem (subordinadas à contradição primária) se dá pela análise dos sujeitos em ação. Essas contradições menores, como veremos no capítulo seguinte, emergem de tensões existentes entre elementos da atividade – por exemplo, entre regras e comunidade; entre recursos mediacionais e os sujeitos; etc.

### **3.4. A Caracterização da Atividade**

A modificação dos elementos internos do modelo de Engeström (1987) proposta por Silva e Mortimer (2016) nos parece a mais coerente com nosso trabalho. Em seu modelo, os autores sugerem a troca dos elementos internos, produção, troca, distribuição e consumo, que inicialmente foram construídos para estudo de sistemas empresariais, para os termos educação, produção, avaliação e compartilhamento. O novo sistema de atividade pode ser representado pela Figura 10.



Figura 10 - Modelo de atividade humana proposto por Engeström (1987) e modificado por Silva e Mortimer, 2016.

Em nosso caso, consideraremos a produção como os momentos nos quais os estudantes se organizam e trabalham na busca de soluções para as questões propostas. Os momentos de produção envolvem intensa negociação de sentidos entre os sujeitos que, por meio do uso dos artefatos mediadores, buscam uma solução concreta para um dado problema proposto. Comumente, estes períodos são marcados por um misto de linguagem científica escolar e linguagem informal, nos quais situações cotidianas têm grande impacto nas atividades escolares. Observa-se, ainda, a manifestação de controvérsias e tensões que devem ser superadas ao longo da atividade.

Como um complemento intrínseco ao processo de produção, identificamos processos de compartilhamento, caracterizados por processos nos quais os sujeitos compartilham informações, conceitos, ideias e modelos (PONTELO, 2009). Tal como sugerem as linhas que ligam interligam os triângulos internos, os momentos de produção e compartilhamento estão inerentemente relacionados às regras, comunidade e divisão do trabalho.

Em uma sala de aula podemos encontrar diversos sistemas de atividade. De modo geral, podemos considerar o conjunto total de alunos como os sujeitos de um

grande sistema de atividade, cujo motivo estaria relacionado à necessidade de obtenção de créditos para conclusão do curso, e suas ações direcionadas a conseguir o mínimo para aprovação. Outros sistemas de atividade poderiam ser pensados, com objetivos e necessidades distintos. Subsistemas de atividades surgem também nesse contexto, como inerentes a um sistema maior, por exemplo, a atividade de cada grupo operando isoladamente. Nesse caso, novas necessidades, ações e operações irão emergir. Sendo assim, existe uma multiplicidade de atividades relativamente independentes, mas podemos interpretá-las a partir da estrutura analítica representada na Figura 1 apresentada na página 30 (ENGESTRÖM, 2001).

Para nossa pesquisa, consideraremos o sistema de atividade como delimitado pelo intervalo de tempo no qual os estudantes se organizam em grupos, cujas ações são guiadas pela necessidade de se encontrar a solução para os problemas conceituais de Física, cujos resultados são materializados por meio dos questionários entregues pelo professor a cada aula. Também faz parte o objeto da atividade, a construção de um relatório final em cada aula, contendo uma resposta para cada questão. Tais respostas devem ser redigidas de forma a serem compatíveis com o nível esperado para estudantes do ensino médio.

O grupo analisado é composto por 5 estudantes, sendo três homens e duas mulheres, iremos utilizar os nomes fictícios: Eduardo, Marcos, Heitor, Diana e Yara. Todos os integrantes deste grupo se mostram assíduos às aulas, exceto a primeira aula, na qual os estudantes Heitor e Diana estiveram ausentes. Neste grupo, apenas Eduardo cursava o Bacharelado em Física, sendo os 4 outros integrantes alunos do curso de Licenciatura em Física.

Nas aulas observadas não foi possível identificar uma liderança predominante no grupo. Em algumas aulas, como será demonstrado, a experiência prévia de um ou outro aluno com o tema o fazia se sobressair nas discussões. Como por exemplo na parte de eletromagnetismo, o estudante Eduardo se sobressaiu visivelmente, uma vez que o mesmo tinha experiência de trabalho com eletrônica em empresas especializadas. Além disso, por estar concluindo o curso de Bacharelado, ele havia cursado mais disciplinas de física que os demais alunos do grupo, sendo suas participações, por vezes, mais detalhadas e específicas do ponto de vista científico, extrapolando os conteúdos esperados pelo professor. Em determinadas situações,

isso comprometia a discussão com os outros integrantes do grupo, que ainda não possuíam os aportes teóricos necessários para debater com as proposições trazidas por ele.

Em uma análise mais atenta, pode-se perceber que os alunos Eduardo e Marcos demonstram serem mais comunicativos, uma vez que geralmente eles apresentam maior número e mais prolongados turnos de fala nas interações. No entanto, as participações de todos integrantes eram quase sempre consideradas e discutidas pelo grupo.

Na primeira aula, o professor apresentou a disciplina, explicitando também suas regras e exigências. Todos os integrantes do grupo, por já terem cursado a disciplina de Física Conceitual I, possuíam experiência com a forma na qual a disciplina era conduzida. É perceptível pela análise dos dados, que todos reconheciam as regras implícitas e explícitas da disciplina. Dentre elas mencionamos: a importância da preparação prévia para a aula, a possibilidade de haver consulta a diferentes fontes durante as aulas, a obrigatoriedade da entrega do relatório ao final de cada aula, o fato de que o relator do grupo para uma dada aula teria uma avaliação diferenciada naquele dia, a forma e o nível de aprofundamento em que o relatório deveria ser redigido, etc.

A forma na qual a divisão dos trabalhos seria realizada não era padronizada, podendo ser discutida por cada grupo; a única obrigatoriedade era de haver rodízio entre os relatores para cada aula. No grupo acompanhado, a decisão da forma de organização do trabalho foi determinada em uma discussão coletiva na primeira aula. Neste dia, ficou acordado que a resposta para cada questão seria produzida após discussão do grupo e lida em voz alta para que a mesma fosse examinada e aprovada por todos os integrantes do grupo.

A divisão do trabalho acordada pelo grupo foi a seguinte: a cada aula, um aluno diferente assumiria a tarefa de relator, sendo a repetição possível apenas após a rotação completa entre os componentes do grupo. Os demais seriam responsáveis pela solução das questões, sendo um responsável também pela leitura das questões em voz alta. O relator, quase nunca conseguia participar ativamente das discussões, uma vez que esteve sempre atarefado, redigindo as respostas das questões já discutidas pelo grupo. Em algumas ocasiões, em caso de dúvida, ele/ela lia sua

redação para seus colegas, buscando comentários e sugestões para melhoria ou a aprovação do grupo.

O uso de recursos mediadores não foi limitado por aqueles presentes na formulação da questão e no livro texto. Como dito, a única restrição era a consulta a outros membros da comunidade, tal como colegas de outros grupos. A consulta ao professor era permitida. Quando isso ocorria, ele costumava fornecer dicas e sugestões para direcionar os estudantes para a solução esperada; em raras ocasiões ele forneceu alguma resposta direta para as perguntas feitas pelos estudantes. Ao longo das aulas os estudantes utilizaram diversos recursos mediadores, tais como diferentes teorias, diferentes formas de linguagem (oral e escrita), consultas a livros, textos, internet, etc. Nosso sistema de atividades se aproxima do apresentado na Figura 11.

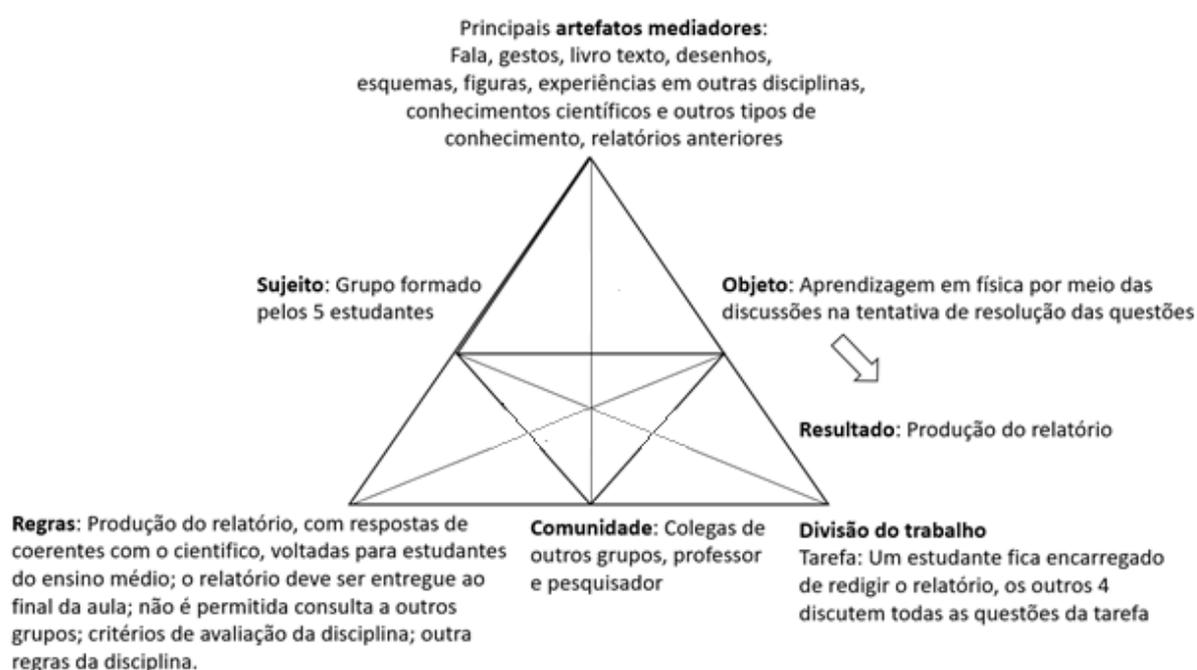


Figura 11 - Modelo da atividade do grupo investigado baseado em Engeström (1987) e Pontelo (2009)

Um ponto interessante a ser observado sobre esta atividade, é que seu objeto principal – resolução das questões e produção do relatório – se repete a cada aula, entretanto as ações e modos de operação do grupo são diversificadas, se adequando às necessidades de cada questão.

## Capítulo 4

### **Análise da atividade de um dos grupos na resolução de problemas conceituais em Física**

Neste capítulo, iremos apresentar dados que nos permitam analisar, em detalhe, as atividades de resolução de problemas conceituais por estudantes de Física no contexto da disciplina Física Conceitual. Para tal, selecionamos 4 episódios que consideramos representativos deste ambiente de aprendizagem e significativos do ponto de vista da análise orientada pela TA e dirigida aos nossos problemas de pesquisa. A ideia é que os episódios e análises permitam uma compreensão ampliada das potencialidades do ambiente de aprendizagem criado pelas disciplinas de Física Conceitual e para o exame das implicações deste estudo de caso para o ensino de Física.

A seleção de episódios foi complexa e precisa ser aqui justificada. Como dito, no primeiro semestre de 2017, acompanhamos todas as atividades realizadas pelos estudantes nas disciplinas de Física Conceitual I e Física Conceitual II, com registro e coleta de dados, o que gerou cerca de 140 questões sendo respondidas em cada uma destas disciplinas por 3 grupos de alunos cada uma delas. Decidimos, em primeiro lugar, lidar apenas com os dados de um dos grupos da disciplina Física Conceitual II, o que reduziu os potenciais “episódios” a 140.

O autor da tese ouviu todos os 140 episódios, construindo diagramas simplificados em *PowerPoint* das ações do grupo na resolução de cada problema proposto e do potencial de análise nelas contido. Desses 140 episódios, foram selecionados 18 deles em que o grupo apresentava uma discussão mais prolongada e calorosa para produção e negociação de uma resposta considerada satisfatória ao problema proposto. Como foi dito, algumas questões foram respondidas quase que imediatamente por um ou mais estudantes do grupo; outras geraram pouco debate, tendo sido o consenso produzido rapidamente. Nelas, embora houvesse muito a aprender, teríamos um potencial de análise menor do que nas outras, em que os argumentos do grupo foram ampliados e prolongados no tempo.

Desses 18 episódios de discussão prolongada, identificamos os aspectos que nos pareciam mais significativos do ponto de vista da análise a partir do referencial teórico. Ao fazê-lo, identificamos certas repetições, desnecessárias para a composição dos dados secundários a serem apresentados na tese. Desse modo, reduzimos os 18 episódios a apenas 4, que serão apresentados e analisados na sequência. Iniciamos a apresentação do episódio destacando o aspecto da atividade que mereceu maior atenção e que justificou sua seleção.

#### **4.1. EPISÓDIO 1 – Energia, intensidade e amplitude na propagação de uma onda: Processo de apropriação da linguagem científica**

Na dinâmica das disciplinas de FC, notamos um esforço recorrente dos estudantes em utilizar adequadamente a linguagem científica no tratamento de problemas em que são orientados a examinar e explicar aspectos de um dado fenômeno físico. Seleccionamos para a discussão e análise um episódio em que percebemos uma tensão na atividade com relação ao uso correto de termos científicos, demandando do grupo esforço de negociação de sentidos e de apropriação progressiva desta linguagem. O episódio é marcado também pela intervenção do professor, que orienta o grupo na direção da resposta cientificamente correta. O processo de aprendizagem em ciências envolve a apropriação de uma linguagem própria desse gênero discursivo, consideramos que a necessidade de superação das tensões provocadas pela dificuldade dos estudantes em utilizar os termos científicos corretos fazem emergir, nesse episódio, um miniciclo de aprendizagem potencialmente expansivo.

O episódio 1, apresentado a seguir, foi extraído da segunda aula, sendo a primeira aula dedicada a resolução de questões conceituais em grupo. No dia da aula, houve um grande temporal na região, o que atrasou a chegada de dois integrantes do grupo – Diana e Heitor . O trecho analisado é iniciado pelos alunos Marcos, Yara e Eduardo, e ao longo do episódio os demais alunos se integram ao trabalho do grupo. Nessa aula Yara era a redatora do grupo e no início do episódio estava redigindo a resposta da questão 1.

O episódio em questão é relativo à resolução da segunda questão da lista baseada no capítulo 19 do livro do Paul Hewitt, que trata dos conceitos envolvidos no

estudo de vibrações e ondas. A primeira pergunta do questionário dessa aula procurava estabelecer relações entre a massa e localização do centro de massa de um pêndulo com seu período de oscilação. A segunda questão, foco de nossa análise, tinha como enunciado o seguinte texto:

2. Mané brinca produzindo ondas ao bater com uma varinha na superfície de um lago. Explique porque as ondas formadas por Mané têm sua amplitude diminuída à medida que se afastam dele.

Figura 12: Segunda questão da aula 2. Questionário relativo aos temas Vibrações e Ondas

A primeira parte do episódio 1 inicia-se imediatamente após o estudante Marcos fazer a leitura em voz alta do enunciado da questão.

Tabela 20 - Episódio 1: Primeira parte			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
1	Eduardo	<i>Devido a viscosidade da água / se fosse um meio ideal</i>	
2	Marcos	<i>Ideal</i>	<i>Fala simultaneamente com Eduardo, consentindo com a cabeça.</i>
3	Eduardo	<i>Ideal / Não haveria dissipação da energia da onda e ela manteria a amplitude ao infinito</i>	<i>Termina a frase em tom de brincadeira</i>
4	Marcos	<i>É só isso (?) / eu odeio essas perguntas que são muito assim</i>	
5	Eduardo	<i>Oi (?)</i>	
6	Marcos	<i>Essas perguntas que a resposta aparente é simples</i>	
7	Eduardo	<i>Essa aqui está até mais fácil / três</i>	<i>Sugerem, em tom de brincadeira, saltarem para a questão 3.</i>
<i>Yara pede para atenção dos colegas para discutir seu texto da resposta à questão 1</i>			

Nessa primeira parte do episódio Eduardo constrói uma explicação para a questão, atribuindo a diminuição da amplitude à presença de forças resistivas do próprio meio. Sendo assim, o estudante, acertadamente, relaciona a amplitude de uma onda com sua energia; entretanto ele não considera a forma de propagação e o

espalhamento radial dessa onda, pontos relevantes, senão essenciais para solução do problema. Em sua resposta, Eduardo considera, ainda, a propagação de onda na água como sendo um fenômeno dissipativo. Marcos concorda com seu colega, consentindo com a cabeça e enfatizando a palavra “ideal” (turno 2), considerado por ele como importante na solução da questão.

Nos turnos subsequentes, Marcos demonstra seu desconforto com relação a simplicidade da resposta que eles estariam produzindo, talvez por sua experiência na Física Conceitual I, uma vez que as questões apresentadas pelo professor normalmente exigem uma análise mais aprofundada das situações. A questão é colocada de lado quando Yara, redatora da aula, solicita a atenção de seus colegas para discutir o texto que ela produziu para a primeira pergunta 1. Logo em seguida, os estudantes retomam a discussão da questão 2.

Entre a primeira parte do episódio e a segunda parte, temos a chegada da estudante Diana; o professor direciona a estudante para o grupo e fica próximo ao mesmo, conferindo em sua lista de chamada se todos alunos estavam presentes. A segunda parte do primeiro episódio é iniciada após os alunos apresentarem à Diana a resposta elaborada por eles para a questão 1, sendo então interpelados pelo professor que havia se aproximado do grupo.

Tabela 21 - Episódio 1: Segunda parte			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
8	Marcos	<i>Aí a dois / a gente estava discutindo</i>	
9	Eduardo	<i>A dois é porque a viscosidade da água faz com que a onda seja atenuada de forma que perca energia e a amplitude</i>	
10	Yara	<i>É / vai perder a energia</i>	
11	Eduardo	<i>E diminuir a amplitude</i>	
12	Marcos	<i>Eu acho que</i>	
13	Professor	<i>Como é(?)</i>	
14	Diana	<i>O Professor sempre chega né</i>	
15	Marcos	<i>A gente está discutindo se é por perda de energia que a amplitude vai diminuir</i>	

16	Eduardo	Não / por causa da viscosidade faz com que a amplitude diminua / seja atenuada	
17	Professor	((balança a cabeça sinalizando negativamente))	
18	Eduardo	Ao bater a varinha no lago / nessa situação é só isso ué	Lendo o enunciado
19	Marcos	A energia / a potência vai diminuindo não?	
20	Eduardo	A propagação da onda	
21	Professor	Quando eu falo / por que quando eu falo quem está mais longe não escuta (?) / quando eu falo assim / em lugar aberto / quem está longe escuta bem mais fraco do que quem está perto (?) / é porque (?) / atenuou no ar (?)	
22	Eduardo	Porque foi atenuado ué	
23	Professor	É(?)	
24	Marcos	A potência	
25	Diana	É porque a amplitude está diminuindo	
26	Professor	E por que a amplitude está diminuindo (?)	
27	Marcos	É porque a intensidade da onda se espalha / tipo / em um círculo(?)	Faz gestos com a mão indicando um círculo que se expande
28	Professor	É a energia está cada vez em uma (?)	Professor abre o braço sinalizando a expansão da onda em um círculo de diâmetro cada vez maior
29	Eduardo	A frequência(?) / você está falando que está alterando a frequência(?)	
30	Professor	Cada vez a energia está numa (?)	Gira o dedo indicando o aumento do perímetro
31	Marcos	Círculo maior	
32	Diana	Num raio maior	
33	Eduardo	Também	
34	Professor	Não / a energia é quase constante / a atenuação é muito baixa	
35	Yara	A energia não muda / só que ela está distribuída em uma	

36	Marcos	<i>É a potência dividida por área</i>	
37	Professor	<i>Como é(?)</i>	
38	Marcos	<i>Não / por área</i>	
39	Professor	<i>A energia fica quase a mesma / mas distribuída em uma área</i>	<i>Gira o dedo indicando aumento do perímetro</i>
40	Yara	<i>Maior</i>	
41	Eduardo	<i>Nossa você ouviu isso de lá e falou 'vou lá corrigir este povo'</i>	<i>Nesse momento o professor volta para sua mesa</i>
42	Marcos	<i>Três</i>	
43	Eduardo	<i>E olha que a gente tinha concordado já hein?</i>	<i>Apontando para o Marcos</i>
44	Yara	<i>Eu sabia que tinha a ver com energia só não sabia como</i>	
45	Eduardo	<i>A gente já tinha concordado</i>	
46	Marcos	<i>Não é energia / é potência / intensidade / sei lá</i>	
47	Eduardo	<i>É / ele falou que a energia está se mantendo constante / mas tem uma perdazinha ai</i>	

No início da segunda parte do episódio 1 os estudantes fazem uma síntese para a Diana de sua resposta à questão. O professor, atento às discussões do grupo, decide fazer uma intervenção. Normalmente o professor intervém quando é solicitado pelos estudantes ou então em alguns momentos nos quais ele decide andar pelos grupos perguntando sobre o andamento dos trabalhos e se eles teriam alguma dúvida. Neste momento, ele havia se aproximado devido à chegada da aluna ao grupo.

A intervenção feita pelo professor inclui um novo elemento na discussão, que é a natureza radial da propagação da onda. No turno 21, o professor desloca o problema para uma situação análoga, da propagação de onda sonora. O deslocamento de contexto insere a evidência de diminuição da intensidade do som audível com o aumento da distância da fonte emissora, posto que essa diminuição de intensidade é mais fácil de ser percebida do que a redução da amplitude da onda na água.

No turno 27, Marcos modifica sua explicação para o fenômeno, passando a relacionar a diminuição da intensidade sonora com o aumento do perímetro do círculo ao longo de sua propagação. Isso fica evidente ao analisarmos seu discurso extra verbal, no qual ele faz uso de gestos com as mãos repetidamente, sinalizando o aumento do raio da frente de onda ao longo de sua propagação. O professor também

faz gestos semelhantes ao tentar fazer com que os estudantes relacionem a diminuição da intensidade da onda com o aumento da área do círculo (turnos 28, 30 e 39).

Eduardo procura acolher a resposta do professor indicando, porém, a possibilidade de ser ela complementar à explicação dada pelo grupo, ou seja, o fato do decaimento da amplitude estar também relacionado às forças dissipativas (turno 33). Mesmo após o professor deixar claro que a energia é quase constante e que a atenuação da onda ser muito baixa para ser considerada relevante para explicar o fenômeno (turno 34), Eduardo reafirma sua posição com os colegas, enfatizando a existência de dissipação de energia no processo (turno 47). No enunciado do problema apresentado, a decisão por considerar ou não o sistema como conservativo é transferida aos estudantes, o que aumenta a complexidade do mesmo. Tal como pontuamos anteriormente, uma das diferenças das questões trazidas pelo professor de outras abordadas nas demais disciplinas do curso, é o baixo nível de restrição do sistema, ou seja, raramente ele solicita que os estudantes desconsiderem atritos, interferências externas, dentre outros, o que permite que os estudantes abordem diferentes aspectos do problema e insiram múltiplos elementos, inclusive aqueles não pertinentes ao problema, como a dissipação de ondas sonoras em sua propagação no ar atmosférico. O grupo não examina quais seriam as forças dissipativas neste caso e porque deveriam ou não serem consideradas relevantes.

Outro ponto a ser destacado é o fato de que a atividade em grupo, embora permita que os estudantes discutam de uma forma mais desinibida e descontraída entre os pares, não deixa de gerar constrangimentos aos membros do grupo dada a exposição de suas colocações. Isso ocorre com as colocações de Eduardo (turnos 43 e 45), nas quais ele tenta distribuir a responsabilidade pelo erro na resposta inicial do grupo, enfatizando que todos haviam concordado com a sugestão dada por ele.

No penúltimo turno dessa segunda parte do episódio, Marcos deixa transparecer sua dúvida com relação ao termo adequado que deveria ser utilizado na resposta – energia, potência ou intensidade. O uso alternado dos termos energia e potência já havia sido enunciado por ele anteriormente (turnos 19 e 24). Na continuidade do episódio 1, no trecho 3 apresentado a seguir, os estudantes tentam

ajustar a linguagem e uso desses conceitos de modo a formular uma resposta considerada adequada para o problema.

Tabela 22 - Episódio 1: Terceira parte			
Turno	Locutor	Transcrição	Observações
48	Diana	Mas por exemplo / amplitude diminui / e a energia tem a ver com a amplitude não tem(?) / não tem a ver com a amplitude(?)	
49	Marcos	Não / a intensidade tem a ver com a amplitude	
50	Yara	A amplitude / a energia vai sendo distribuída e ela chega menor numa área à medida que a amplitude vai / por isso que a amplitude vai diminuindo	
51	Diana	Porque a área é maior / que está sendo distribuída a energia	
52	Eduardo	É porque a energia está sendo distribuída / é igual você falou / a energia está sendo distribuída / a cada vez que ela avança ela está sendo distribuída em uma área maior	
53	Marcos	Olha ficou bom	Avalia como adequada a formulação proposta por Eduardo
54	Eduardo	A cada avanço, ela distribui em uma área maior	
55	Diana	Mas como que a gente liga isso com a amplitude(?)	
56	Eduardo	Então / se você está diminuindo a / se a energia está sendo dividida	Gesticula com as mãos indicando decréscimo da amplitude
57	Diana	A amplitude cai	
58	Eduardo	A amplitude cai para manter a energia próxima / quase equivalente / considerando dissipações mínimas do meio	
59	Diana	É	
60	Marcos	Intensidade é potência por área(?) / não lembro agora	
61	Eduardo	Não / Intensidade é amplitude ao quadrado / não depende	

62	Marcos	<i>Intensidade é tipo assim / ó / por exemplo a intensidade de uma onda eletromagnética</i>	
63	Eduardo	<i>É o campo ao</i>	
64	Marcos	<i>Depende do campo elétrico ao quadrado / mas eu esqueci</i>	
65	Eduardo	<i>A intensidade geralmente é o / agora se você falar intensidade por área e intensidade por volume aí / com o já foi dito / por área e por volume / ou seja é a amplitude ao quadrado dividido pelo volume</i>	

Essa terceira parte do episódio evidencia a dificuldade desse grupo com relação aos conceitos de amplitude, energia, potência e intensidade. A inserção do conceito de intensidade da onda redireciona as ações dos estudantes no sentido de conectar este conceito aos conceitos de amplitude e energia. O aspecto contraditório do problema é o fato de haver redução da intensidade da onda à medida em que ela se propaga, porém com conservação de energia. Essas ações se tornam ações de aprendizagem dentro de um miniciclo de aprendizagem expansiva, possibilitando que os estudantes examinem seu modelo explicativo, promovam ajustes, reflitam sobre o processo, adequando a linguagem e refletindo deliberadamente sobre o uso desses conceitos e sobre suas relações.

No turno 49, Marcos responde a indagação da Diana afirmando que a intensidade (e não energia) estaria relacionada com a amplitude da onda, corrigindo a colega. No capítulo 19, que havia sido marcado para leitura para esta aula, o livro texto examina a relação entre amplitude e energia em detalhes, mas não trata do conceito de intensidade, que será abordado no capítulo 21 no contexto do estudo de ondas sonoras. A discussão entre Marcos e Diana foi interrompida pela tentativa de Yara em formular uma resposta à questão (turno 50). Nas falas subsequentes os alunos reformulam o enunciado mantendo sua essência – a diminuição da energia estaria relacionada ao aumento da área em que esta é distribuída.

No turno 55 Diana retoma sua dúvida sobre a relação entre amplitude e energia. Aparentemente a estudante não compreende que a amplitude de uma onda é uma grandeza física que está diretamente relacionada ao conceito de energia, ou seja, o decréscimo localizado da amplitude de uma onda é uma evidência da diminuição da energia nesse ponto. Eduardo responde à pergunta da colega,

relacionando corretamente amplitude com energia; entretanto, ele constrói seu enunciado (turno 58) de maneira equivocada, dando uma agentividade causal para a amplitude, afirmando que ela cai “para manter” a energia do sistema aproximadamente constante. A queda da amplitude é um efeito da forma de espalhamento radial dessa onda e não um agente de causa intencional. Não é possível, ainda, pela análise dos enunciados de Eduardo, saber se ele apenas reconhece a relação entre energia e amplitude da onda ou se seria capaz de justificar tal relação, ou seja, explicar porque a energia de uma onda é proporcional ao quadrado da amplitude. Provavelmente não, dada a imprecisão dos enunciados seguintes e a ausência de uma resposta mais clara à solicitação de Diana no turno 55.

Nos turnos finais deste terceiro trecho, Marcos e Eduardo retomam a discussão sobre a relação entre os diversos conceitos discutidos até então – potência, área, intensidade e amplitude. No turno 60, Marcos enuncia corretamente a relação matemática que descreve a intensidade de uma onda na forma de uma indagação, entretanto encontra uma resposta negativa do Eduardo. Para tal, eles recuperam memórias de estudos do eletromagnetismo, em que a energia de uma onda eletromagnética é proporcional ao quadrado do campo, ou seja, ao quadrado da amplitude. Vemos aqui como essa atividade aciona conhecimentos dispersos, às vezes desconexos e com entendimentos parciais, que são utilizados como ferramentas mediacionais na solução de problemas.

Este trecho do episódio finaliza sem uma definição final para o conceito de intensidade de energia de uma onda. No turno 65, Eduardo esboça uma definição, mas o faz de modo impreciso “intensidade geralmente (sic) é ... intensidade por área e intensidade por volume”. Não ficam, portanto, claras as relações entre os conceitos: energia é proporcional ao quadrado da amplitude e que a intensidade é potência (energia por tempo) por unidade de área, sendo a área medida perpendicularmente à direção de propagação da onda.

Na sequência eles iniciam a resolução da questão 3. O quarto e último trecho do episódio tem início quando Yara solicita atenção de seus colegas para ler o enunciado da resposta à questão 2.

Tabela 23 - Episódio 1: Quarta parte			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
66	Yara	<i>A medida que as ondas se afastam de Mané / a energia dessa onda permanece praticamente a mesma porém ela é distribuída de forma diferente / quanto mais afastado maior a distribuição dessa energia / ela é distribuída em uma área maior / né (?)</i>	
67	Eduardo	<i>Não você não falou da área / no caso</i>	
68	Marcos	<i>Perímetro maior</i>	
69	Yara	<i>Eu falei mais afastada / tipo assim</i>	
70	Eduardo	<i>Então / mas aí é distribuído por uma área maior / por isso que a amplitude será menor</i>	
71	Yara	<i>Então tá / quanto mais afastada maior a área</i>	
72	Diana	<i>A energia é distribuída em uma área maior</i>	
73	Eduardo	<i>A energia é distribuída em uma área maior / por isso a amplitude é menor / a amplitude da onda que está avançando</i>	
74	Yara	<i>Quanto mais afastado maior o perímetro</i>	
75	Diana	<i>Não / coloca quanto mais afastado da fonte a energia é distribuída em uma área maior</i>	
76	Marcos	<i>Mas no caso é só um perímetro</i>	
77	Diana	<i>Como é?</i>	
78	Marcos	<i>Mas no caso é só um perímetro / é porque isso é [bi] dimensional</i>	
79	Diana	<i>Então ela é distribuída em uma área maior</i>	
80	Marcos	<i>Não / perímetro</i>	
81	Eduardo	<i>Perímetro</i>	
82	Marcos	<i>Por causa que é um círculo</i>	
83	Diana	<i>Ah tá</i>	
84	Eduardo	<i>A medida que a onda se propaga ela é distribuída em uma área maior / portanto a amplitude para manter uma mesma energia será menor</i>	

Após a estudante realizar a leitura de seu texto, seus colegas sugerem modificações, deixando clara a relação entre o aumento da área de distribuição da energia com a diminuição da amplitude. Além disso, mesmo estando equivocado, Marcos salienta um aspecto importante ao problema, o fato da energia de cada frente

de onda se distribuir na linha da circunferência, e não na área do círculo, como um todo. Apesar de Marcos explicar seu ponto de vista para seus colegas a resposta sugerida por Eduardo no último turno mantém o termo área para tratar da forma de distribuição da energia. Na Figura 13 apresentamos a resposta final da estudante à questão.

2. A medida que as ondas se afastam de Mané, a energia dessa onda permanece praticamente a mesma, porém ela é distribuída de forma diferente: quanto mais afastada, maior o perímetro da onda e, conseqüentemente, maior será a distribuição de energia? fazendo com que a amplitude diminua.

“A medida que as ondas se afastam de Mané, a energia dessa onda permanece praticamente a mesma, porém ela é distribuída de forma diferente: quanto mais afastada, maior o perímetro da onda e, conseqüentemente, maior será a distribuição de energia, fazendo com que a amplitude diminua”

Figura 13: Resposta à segunda questão da aula 2 com correção a correção do professor

Em seu texto Yara incorporou diversos pontos discutidos no episódio, como por exemplo, o fato da energia permanecer “praticamente” a mesma à medida em que ela se afasta, concordando assim com as colocações de seus colegas, em especial com Eduardo, de que nesse sistema haveria perdas, mesmo que mínimas. Além disso, ela acolheu a colocação do Marcos sobre a mudança do termo área para perímetro, embora o grupo não tivesse chegado a um consenso a esse respeito. Por fim, ela relacionou a maior distribuição da energia com a diminuição da amplitude.

O professor grifou e colocou um ponto de interrogação na expressão “maior será a distribuição da energia”, considerando-a confusa. Outro ponto confuso na resposta da estudante, entretanto não sinalizado pelo professor, está entre a terceira e a quarta linha, na qual ela afirma que a energia “é distribuída de forma diferente”. A palavra “diferente” é um adjetivo que é utilizado sempre em comparação a outra coisa, em sua resposta, ela não apresentou nada que pudesse ser comparado. Além disso,

o professor não sinaliza a incorreção do uso do perímetro e não da área para explicar a atenuação da intensidade da energia da onda em propagação.

Tal como os alunos apontaram na entrevista, a produção do texto escrito foi um desafio para eles, uma vez que ao longo do curso de Física raramente os estudantes são incentivados a produzir um texto contendo explicações de fenômenos de forma qualitativa e descritiva. Normalmente, em outras disciplinas, isso acontece por meio da sistematização de um conjunto de equações e procedimentos algébricos.

Apesar do esforço do grupo em discutir e refletir sobre os conceitos utilizados para enunciar uma resposta ao problema, o que revela o início de um miniciclo de aprendizagem expansiva, esta resposta apresenta lacunas e problemas, o que indica que o miniciclo expansivo não foi, no contexto e dinâmica da aula, suficientemente desenvolvido.

#### **4.2. EPISÓDIO 2 – Modelagem de um fenômeno físico: o problema da atenuação do som**

Nesta sessão iremos apresentar um episódio marcado pela intensa participação discursiva dos estudantes durante o processo de produção de resposta a uma questão cuja solução correta é dificultada pelo contexto particular em que o problema é enunciado. A questão fornecida pelo professor solicita que os estudantes façam suposições razoáveis e estimativas, o que leva os estudantes trilharem caminhos diversos para a solução da mesma. Nosso interesse aqui é compreender as tensões que emergem no contexto da atividade e os pontos de flutuação no objeto da atividade (TOMAZ & DAVID, 2015).

O episódio que será apresentado foi extraído da quarta aula da disciplina, sendo a terceira aula dedicada a resolução de problemas. O grupo investigado trabalhou, nesta aula, sem a presença do Heitor que, por motivos pessoais, não pode estar presente.

As questões selecionadas pelo professor para essa quarta aula eram baseadas nos conceitos desenvolvidos no capítulo 21 do livro texto adotado. Tal capítulo propõe o estudo das ondas sonoras, dando continuidade ao estudo de vibrações e ondas mecânicas, tema geral da unidade. Ao todo, o questionário continha 8 questões.

O episódio apresentado neste capítulo se inicia imediatamente após Diana realizar a leitura da questão 4 do questionário. Nesta aula, Marcos era o responsável pela produção do relatório e no início do episódio ele se encontrava finalizando o texto da questão anterior. Na Figura 14 apresentamos o texto da questão, tal como ela foi apresentada aos estudantes.

O som em um show de uma banda de rock atinge o nível sonoro de 120 dB no palco. Faça suposições razoáveis e estime esse nível sonoro a 10 m e a 100 m do palco.

Figura 14 – Quarta questão do relatório da aula 5. Questionário relativo ao tema de ondas sonoras

Tabela 24 - Episódio 2 – Primeira parte			
Turno	Locutor	Transcrição	Observações
1	Eduardo	Ah tá / é por metro quadrado né(?)	
2	Diana	É	
3	Eduardo	Só que é nível sonoro / tá / vamos colocar que nível sonoro está igual a intensidade com uma frequência né	Referindo-se a figura do enunciado anterior (Figura 15A)
4	Yara	Estime o nível sonoro	Lendo o texto da questão
5	Diana	Eu acho que eu sei fazer assim	
6	Eduardo	Ahn(?)	
7	Yara	É / só pegar aqui o / nível sonoro(?)	Consultando o livro
8	Eduardo	Bom / se for considerar o palco como um ponto	Risadas do grupo
9	Eduardo	Um matemático resolvendo / considerando um cavalo como um ponto	Em tom de ironia
10	Eduardo	As ondas se expandindo de forma circular / você vai colocar / ah tá essa distância você não precisa colocar a forma de ondas esféricas / você pode colocar em forma de ondas planas / então você não precisa considerar o palco como um ponto	Desenhando no papel
11	Yara	Considerando o palco como uma reta	
12	Eduardo	Considerando o palco como uma reta / que tem em média quantos metros(?) 40 metros(?)	
13	Yara	É você estima porque eu não sei	
14	Eduardo	Largura de um palco de uma banda / aí depende	
15	Yara	Depende da banda	

16	Diana	Se for uma banda de rock né(?)	
17	Eduardo	Depende de qual banda de rock / de garagem / considerando uma banda de rock de garagem / com um palco em média de 20 metros de largura	
18	Eduardo	Dependendo da banda / se for um rock light assim como U2 o palco é 360	
19	Yara	É tem esse detalhe / aí vai ter que ser ondas circulares / está vendo	
20	Eduardo	Não então vamos colocar uma banda de garagem / fica mais fácil / para simplificar	
Marcos pede a atenção de seus colegas para ler a resposta da questão 3. Esta pausa teve duração aproximada de 4 minutos e 45 segundos.			
21	Eduardo	Aí gente / questão 4 / matemática pesada / tem que calcular a área	Em tom de ironia Falas simultâneas
22	Yara	Integral	
23	Diana	Cento e vinte decibéis no palco	Lendo o texto
24	Eduardo	Pois é / se for o palco do U2 que é curvo tem que fazer integral porque é 360	
25	Diana	Não gente / isso é Física Conceitual	
26	Eduardo	Tô zoando	
27	Marcos	É só fazer isso ao quadrado aí / acabou o problema	
28	Eduardo	O que(?)	
29	Yara	Eu acho que a gente tinha que considerar o palco normal	
30	Diana	Exatamente / olha só / 10 metros é 10 elevado a um / 100 metros é dez elevado a dois / pensem nisso	Em tom de ironia
31	Eduardo	Que viagem é essa gente(?)	
32	Diana	120 Decibéis no palco / 120 decibéis no palco / isso aqui é decibel isso aqui é intensidade / então isso aqui não nos interessa	Lendo o texto da questão e analisando o gráfico das questões anteriores
33	Diana	Aqui rola mais alto ainda(?) Porque está nessa linha né(?)	Apontando para o desenho feito pelo Eduardo
34	Eduardo	Não sei / porque tipo assim tem o palco / mas considerando o seguinte / você tem as caixas /	

		<i>está certo que tem várias caixas de som / mas para facilitar nosso problema colocando uma é mais fácil você falar que as ondas são esféricas / ai seria a mesma coisa da água / você não veio na aula passada que tinha a questão da água / que a medida que</i>	
35	Diana	<i>Que se propaga né(?)</i>	
36	Eduardo	<i>Que se propaga / não é que tem o</i>	
37	Yara	<i>Você não perde energia</i>	
38	Eduardo	<i>Você não perde energia / no caso que ela se espalha em uma área maior</i>	
39	Yara	<i>É tipo uma mesma energia ela é</i>	
40	Eduardo	<i>A mesma energia é espalhada em uma área maior</i>	
41	Yara	<i>Maior</i>	
42	Eduardo	<i>Entendeu / ai seria tipo isso aqui / entendeu / porque a 100 metros você está espalhando a energia / a tá porque na verdade é / então de certa forma você pode ter um palco quadrado / na verdade ela não é simplesmente assim<sup>(a)</sup> / ela é<sup>(b)</sup> / então eu estava pensando dela indo para frente / mas na verdade ela vai se abrindo<sup>(b)</sup> para cima</i>	<i><sup>(a)</sup> Empurrando as mãos para frente <sup>(b)</sup> Levanta uma das mãos e abaixa a outra, indicando a abertura de um cone</i>

A questão abordada no episódio 2 é típica das atividades desta sala de aula: um problema geral é proposto acompanhado de uma indicação de que sejam feitas suposições e estimativas para sua solução. Nesta formulação, cabe ao grupo decidir, em primeiro lugar, quais os dados relevantes do contexto para a resolução do problema proposto. Tal questão é bastante diferenciada se comparada a outras encontradas tradicionalmente nos livros texto das disciplinas de física, que tipicamente tentam definir claramente as condições de contorno pertinentes ao problema proposto, deixando pouca margem para interpretação e inferências.

Em uma das questões anteriores do referido questionário o professor apresentou um gráfico (Figura 15A) que relaciona a intensidade sonora percebida por um ser humano com a frequência de emissão da fonte. As duas perguntas iniciais do questionário faziam referência a este gráfico. Na questão 3 do relatório, os estudantes utilizaram uma tabela do livro (Figura 15B) texto que informava a intensidade sonora

emitida por diferentes fontes. A intensidade sonora era apresentada na tabela tanto em watts por metro quadrado, quanto em decibéis.

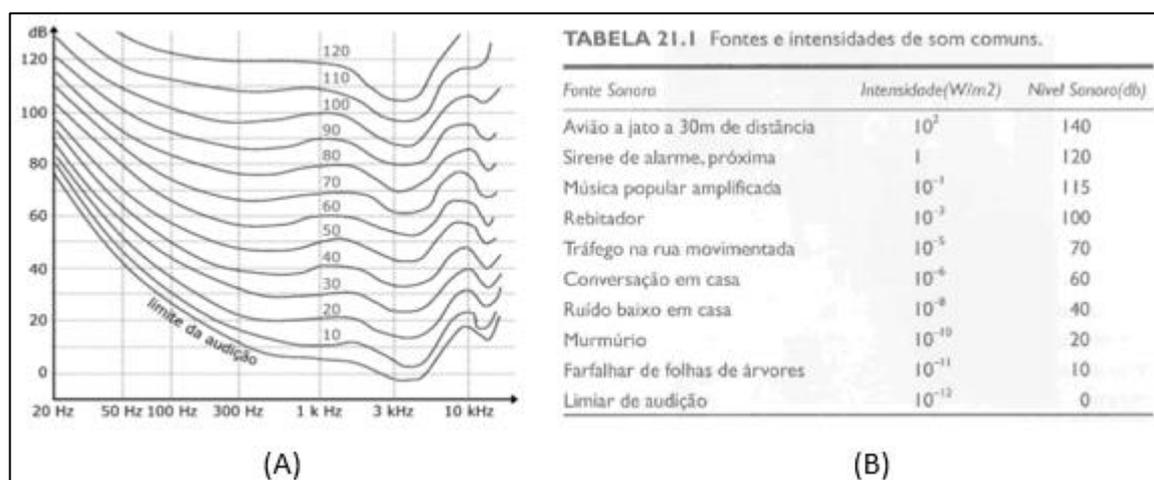


Figura 15 - (A) Figura extraída do questionário da 4ª aula de Física Conceitual II; (B) Figura extraída do livro Paul Hewitt (9ª edição)

No episódio apresentado, nos turnos iniciais os estudantes passam por um período de entendimento da questão e avaliação do material disponível. Eduardo, no turno 1, inicia o processo de resolução da questão, identificando quais grandezas físicas serão relevantes ao problema, e com que tipo de relações eles irão tratar. A partir da análise do vídeo, podemos observar que no turno 1 ele está olhando para a tabela da questão anterior (Figura 15B), identificando que a intensidade sonora é dependente da área. No turno 3, identificamos o eco das questões anteriores na solução do problema, no qual ele relaciona o nível de percepção sonora com o nível de intensidade sonora para uma dada frequência. Nos turnos 4 e 7, Yara enfatiza uma parte do texto da questão e analisa a tabela do livro em busca de relações relevantes ao problema.

Entre os turnos 1 e 7, as ações dos sujeitos são direcionadas ao entendimento da questão. Para isso, os integrantes do grupo tentam selecionar informações no texto da questão, no livro e nas questões anteriores. Obviamente, não descartamos a influência das experiências anteriores dos sujeitos envolvidos como recurso mediador, gerando pontos de tensão entre a experiência prévia dos indivíduos e a aplicação ao novo contexto, pois a historicidade dos sujeitos é fundamental para os novos processos de desenvolvimento desencadeados pelas atividades em que eles estão inseridos. No entanto, neste momento, os membros do grupo não apresentam sinais

de evocarem informações de outras fontes que não o livro, o questionário e a proposição do problema.

Na Figura 16 apresentamos um primeiro sistema de atividade, que consideraremos como ponto de partida para a atividade de resolução da questão apresentada no episódio. No diagrama, os sujeitos da atividade são os quatro integrantes do grupo presentes na aula; as regras, a comunidade, os processos de produção e de compartilhamento idênticos aos discutidos na Figura 11 na sessão 4.1.

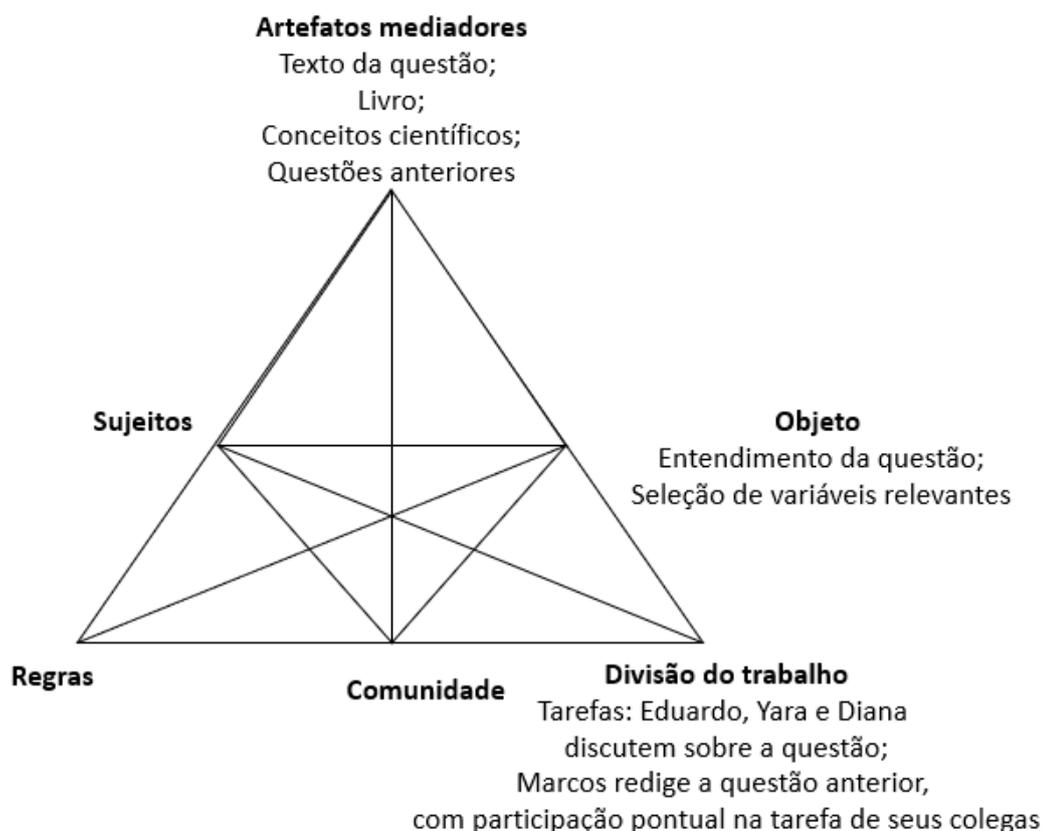


Figura 16 - Primeiro sistema de atividade do processo de resolução da questão 4 da quarta aula

A partir do turno 8, observamos que as ações dos sujeitos são movidas por um novo objeto, que deixou de ser o entendimento da questão, seleção e avaliação das variáveis relevantes, se tornando a modelagem do sistema físico. Tal como afirmam Engeström e Sannino (2011), mudanças na atividade são provocadas por pontos de tensão ou contradições. No caso do episódio analisado, consideramos que a tensão que deu origem a flutuação do objeto da atividade se deu tanto pela própria formulação do problema, quanto pelas escolhas feitas pelo grupo.

Com relação à formulação do problema, temos uma tensão entre os sujeitos e as regras da atividade, uma vez que o problema solicita que os estudantes façam suposições e estimativas razoáveis. Os estudantes redirecionam suas ações na tentativa de estabelecer as condições relevantes que possibilitam o enfrentamento dessas tensões, sem que essas condições extrapolem as regras da disciplina. Vale ressaltar, que o grupo poderia ter seguido outro caminho como, por exemplo, aplicar a lei do inverso do quadrado da distância para responder diretamente à questão (veremos adiante que o grupo demonstra compreensão da relação entre o nível de intensidade sonora e distância do observador à fonte).

Diante dessa nova necessidade – modelar o sistema físico – os estudantes executam novas ações com a intenção de definir geometria do sistema. Inicialmente, em tom de brincadeira, eles incorporam métodos de simplificação do problema, considerando a fonte emissora da onda como um ponto. Tal estratégia é bastante usual à Física, e permite que sistemas complexos possam ser analisados com modelos simplificados, em condições apropriadas. A questão a saber é se as condições de contorno do problema proposto se enquadrariam ou não em simplificações consistentes e resultados com boa aproximação. A dificuldade dos estudantes em transitar entre o mundo das ideias, das suposições razoáveis e simplificações permissíveis ao problema analisados, e o mundo real gerou a tensão nesse momento da atividade.

No turno 10, Eduardo decide abandonar a simplificação proposta (fonte pontual) sugerindo outra: a expansão da onda não precisaria ser analisada tridimensionalmente, e sim em duas dimensões. No turno 34, ele deixa transparecer que seu modelo para o problema é análogo à situação que eles analisaram na aula anterior, na qual eles examinaram a diminuição da amplitude de uma onda ao longo de sua propagação na superfície de um lago. Eduardo não deixa claro em seus enunciados a justificativa para considerar a propagação bidimensional. Ao que parece, ele justificou para seus colegas por meio de um desenho feito em um pedaço de papel, entretanto não tivemos acesso a esta anotação.

Ao considerarem o palco como uma reta, eles adicionam novos pontos a serem discutidos, como por exemplo, as dimensões do palco e disposição das caixas de som. Entre os turnos 20 e 21 há uma mudança na atividade do grupo diante de uma

demanda colocada por Marcos, que solicitou que os colegas avaliassem sua resposta à questão 3. O grupo acolhe sua sugestão, e analisam coletivamente seu texto.

O episódio é reiniciado no turno 21 com Eduardo chamando a atenção para a questão 4. Ele faz sua colocação em tom de ironia, dizendo que uma matemática não trivial deveria ser utilizada caso eles considerassem um palco de  $360^\circ$ . Diana chama a atenção que o uso de ferramentas matemáticas, tal como integral, não é característica da disciplina Física Conceitual, não sendo necessária estabelecer operações nesse sentido.

Na primeira parte deste episódio, Marcos esteve envolvido com a escrita dos textos das questões anteriores, entretanto, ele participa pontualmente no turno 27, sugerindo que seus colegas utilizem relações quadráticas. Não fica evidente no episódio de que ele esteja se referindo a lei do inverso do quadrado. Apesar de Eduardo pedir que ele explique melhor seu ponto de vista, isso não acontece, e Marcos volta a trabalhar na redação das outras questões. No turno 30, Diana tenta sem sucesso estabelecer a relação quadrática entre os dados fornecidos, sua fala é bastante lacunar e não faz sentido para seus colegas, talvez ela nem mesmo soubesse ao certo o que estava propondo, considerando o tom irônico de sua fala. Além disso, observamos nos turnos 32 e 33 que ela ainda estaria desenvolvendo ações no sentido de compreensão do problema, uma vez que ela lia a questão pausadamente em voz alta, e analisava as colocações feitas por Eduardo em seu desenho na folha de rascunho.

Percebendo a complexidade da solução do problema caso eles considerassem as dimensões do palco e a posição das diversas caixas de som, Eduardo propõe que apenas uma caixa de som fosse considerada (turno 34). Desse modo, ele aproxima seu modelo de propagação da onda sonora à propagação da onda na superfície de um lago, tratado na aula anterior. Tal proposta foi prontamente aceita pelos seus colegas, utilizando inclusive detalhes do modelo para a propagação da água para justificar a diminuição da intensidade sonora, uma vez que o aumento da distância estaria acarretando o espalhamento radial da energia.

A primeira parte deste episódio é marcada por ações e operações guiadas por dois objetos distintos, sendo o primeiro a busca pelo entendimento da questão e a correlação entre as variáveis relevantes, e o segundo relativo a necessidade de

modelagem do sistema físico a ser analisado. Na Figura 17 apresentamos as alterações para o novo sistema de atividade.

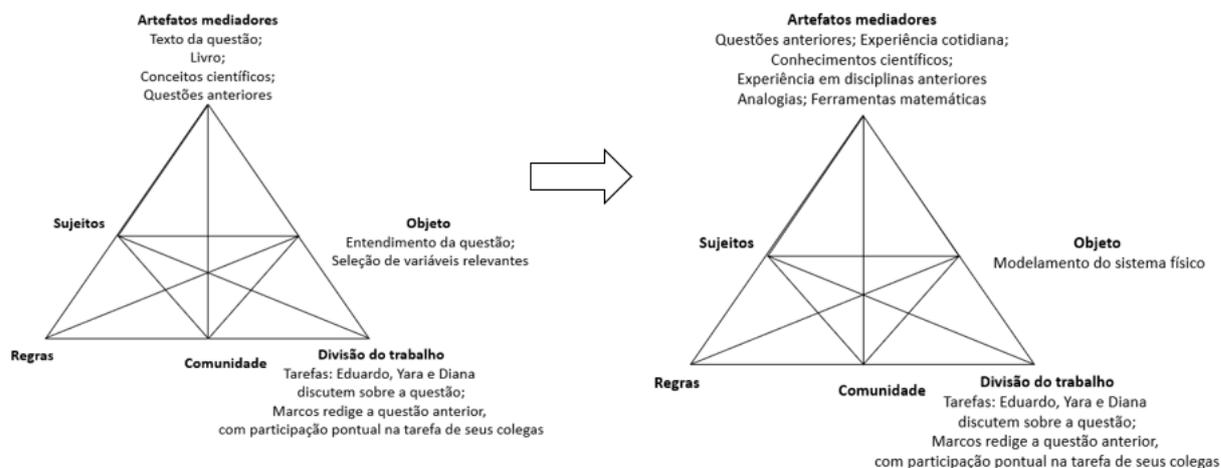


Figura 17 - Segundo sistema de atividade do processo de resolução da questão 4 da quarta aula.

A segunda parte do episódio ocorre após a sistematização da modelagem do sistema emissor de ondas sonoras. Com a intenção de manter a continuidade do discurso, reproduzimos também nesta segunda parte, a fala do Eduardo no turno 42.

Tabela 25 - Episódio 2 – Segunda parte			
Turno	Locutor	Transcrição	Observações
42	Eduardo	Entendeu / ai seria tipo isso aqui / entendeu / porque a 100 metros você está espalhando a energia / a tá porque na verdade é / então de certa forma você pode ter um palco quadrado / na verdade ela não é simplesmente assim <sup>(a)</sup> / ela é <sup>(b)</sup> / então eu estava pensando dela indo para frente / mas na verdade ela vai se abrindo <sup>(b)</sup> para cima	( <sup>a</sup> ) Empurrando as mãos para frente ( <sup>b</sup> ) Levanta uma das mãos e abaixa a outra, indicando a abertura de um cone
43	Yara	Para cima / entendi / é / para os lados também	Abrindo os braços cada um para um lado, indicando também a abertura de um cone
44	Eduardo	E para o lado também / mais precisamente / porque ele fala 100 metros / 200 metros / você pensa assim	Jogando as mãos para frente
45	Yara	para frente	

46	Marcos	Você vai considerar esférico ou	
47	Yara	Não ai tanto faz / mas eu acho que não precisa	
48	Eduardo	Oi(?) não precisa não	
49	Yara	É	
50	Marcos	R ao quadrado vai ter um fator de 4 / porque o perímetro é $\pi R$	
51	Yara	A relação vai ser a mesma	
52	Eduardo	Ahn(?) Não	
53	Yara	A relação / não eu tô falando assim	
54	Eduardo	A relação não vai ser a mesma	
55	Marcos	Não por que se a gente considerar só duas dimensões / essa energia vai se espalhar para $2 \pi R$ que é o perímetro	Fazendo um círculo com os dedos
56	Yara	Aham	
57	Marcos	E se for assim vai espalhar para $4 \pi R$ ao quadrado / vai espalhar pela área da esfera	Levanta os braços, simbolizando uma esfera
58	Diana	Uhum	
59	Marcos	Ai faz muita diferença	
60	Eduardo	Você está falando assim de considerar tipo sem esfera(?) Tipo sem	
61	Marcos	Então ai a gente	Muitas falas simultâneas, difícil entender o que estão dizendo
62	Eduardo	Não / mas se você for considerar	
63	Yara	Sem ser o círculo / só reto	Empurrando a mão para frente
64	Eduardo	Não / mas se você considerar que o autofalante é uma forma de um cone / na verdade não é um cone mas ele direciona / tipo assim quem está atrás do palco não está ouvindo	Jogando as mãos para frente
65	Yara	Não escuta né	
66	Eduardo	Não / escuta / pouco	
67	Yara	Não / você está falando assim / mas desconsiderando isso / vai ser só para frente	Empurrando a mão para frente
68	Eduardo	É o alto falante seria / É mas o professor vai falar que a gente está falando demais / mas considerando o	

		<i>autofalante com um direcionador / as caixas de som são direcionadas para frente / não consideraremos a forma de onda esférica / simplesmente a propagação paralela / paraxial / então é</i>	
69	Yara	<i>Uhm(?)</i>	
70	Eduardo	<i>Ai ela vai dividir na área da frente / espalhada / não sei / não sei</i>	<i>Passando as mãos na cabeça, indicando dificuldade em desenvolver o raciocínio</i>
71	Yara	<i>É porque / vai para o lado</i>	
72	Marcos	<i>Se você considerar uma linha reta nunca vai diminuir</i>	
73	Eduardo	<i>Não / mas eu tô pensando assim / sem você considerar esférico, mas a medida está aqui / a medida que ela vai ficando mais longe / não esférico / como se fosse um cone / entendeu(?) / a caixa de som está direcionando mas como se fosse um cone / é eu acho que seria uma analogia ao cone / seria melhor</i>	<i>Levantando uma das mãos e abaixando a outra, simbolizando um cone</i>
74	Marcos	<i>Entendi</i>	
75	Yara	<i>É</i>	
76	Eduardo	<i>Ele tem que aceitar / tem várias formas de se analisar isso</i>	
77	Yara	<i>Tem</i>	
78	Marcos	<i>Mas eu acho que isso complica</i>	
79	Eduardo	<i>Não / complica não / seria a área do cone</i>	
80	Diana	<i>O que você está pensando</i>	
81	Marcos	<i>Em R igual a zero a intensidade é igual a 120</i>	
82	Yara	<i>A área do cone vai ter a mesma relação que o / o cone / então vai dar o mesmo não(?)</i>	
83	Marcos	<i>O que você está falando é que só a base do cone(?)</i>	
84	Eduardo	<i>A medida que você aumenta a distância, o disco do cone é maior / entendeu(?) / ai a energia vai estar distribuída em uma área maior</i>	<i>Abre os braços indicando a abertura do cone</i>
85	Yara	<i>Entendi</i>	
86	Eduardo	<i>E não é uma relação linear</i>	
87	Yara	<i>Mas não seria uma esfera / sei lá</i>	

88	Eduardo	Não / eu to falando que é um cone porque as caixas de som usadas direcionam para uma área	
89	Marcos	Então / ela direciona para uma área / tipo assim / a área do cone você está pegando só a base e tem a área da lateral	
90	Eduardo	Não / eu to falando da propagação paraxial / a frente de onda está se propagando como se fosse um cone / entendeu(?) <sup>(c)</sup> / eu não estou considerando frente de ondas esféricas <sup>(d)</sup> / que você faz assim / eu estou falando a propagação assim <sup>(c)</sup>	<sup>(c)</sup> Joga os braços para frente <sup>(d)</sup> Abre os braços indicando a abertura de uma esfera
91	Yara	Então quando eu penso em cone é tipo assim	Abrindo os braços e os jogando para frente, simbolizando a abertura de um cone
92	Eduardo	Ahn(?)	
93	Yara	Quando eu penso em cone por exemplo	
94	Eduardo	Não / cone é assim olha	Abrindo os braços e os jogando para frente, simbolizando a abertura de um cone
95	Yara	Pois é	
96	Eduardo	Não / o jeito que ele está falando ela vai assim olha	Abre os braços deixando-os quase que paralelos inicialmente e os abrindo para os lados, indicando a abertura de uma esfera
97	Marcos	Não não não / é porque tipo assim / se você imaginar esse negócio tipo assim olha / o cone aqui / se eu pego assim ele vai para frente, só que aqui também tem som	Desenhando no papel
98	Eduardo	Mas se você estiver neste ponto aqui / mais afastado / você não vai ouvir / você não ouve / entendeu(?) / a uma distância teste aqui da caixa de som / se você fizer o teste / você realmente não vai ouvir / nenhum show rolando assim	Indicando no papel

99	Marcos	Aqui por exemplo você está falando que eu não ouço / certo(?)	
100	Eduardo	Você ouve muito menos	
101	Marcos	Só que se eu tiver aqui eu escuto / Entendeu(?) / Esse que é o problema	
102	Eduardo	Isso que é a justificativa do cone gente	
103	Marcos	Mas no show tem um monte de caixa de som virada para tudo quanto é lado	
104	Eduardo	Mas ai isso complica	
105	Marcos	É o que acontece	
106	Yara	Então / esférico	
107	Marcos	É o que a acontece	
108	Eduardo	Uma banda normal / sem ser o show do U2 / um palco 360 /	
109	Marcos	Então meio esférico	
110	Eduardo	Você tem os autofalantes / você tem o palco lá / e dos lados você tem as caixas / não é assim geralmente(?) / então dos lados que está direcionando para aquela área lá	
111	Yara	Porque então não vai direcionar certinho entendeu / atrás do palco não isola o som / então seria esférico mesmo se tivesse assim / todas as caixas de som direcionadas só para frente / seria esférico porque não	
112	Eduardo	Não / por isso a justificativa do cone é porque as caixas de som direcionam para frente /	Empurra as mãos para frente
113	Yara	Mesmo se elas estiverem direcionadas para frente iria ter som atrás / porque não tem isolamento	Nestes turnos Diana conversa com o
114	Eduardo	Tá / por isso você ouve um pouco atrás / mas pouco	Marcos em separado,
115	Yara	Tá / mas assim seria mais fácil de colocar	pedindo que ele
116	Eduardo	Mas a justificativa é que você direciona a maior parte	explique seu ponto de
117	Yara	Então é / mas ai teria que falar muito	vista para ela
118	Marcos	Mas primeiro a gente tem que ver a área de onde está saindo / depois área em que isso está sendo distribuído / sei lá	
119	Diana	É	
120	Marcos	Na verdade minha ideia era só usar o esférico mesmo	

121	Eduardo	<i>Mas isso gente é para a gente estimar / não precisa rigor matemático / coloca o cone mesmo</i>	
122	Diana	<i>Não mas eu acho que esférico seria mais fácil / seria uma ordem de grandeza</i>	
123	Marcos	<i>O cone a gente teria que calcular por exemplo o comprimento do palco entendeu(?)</i>	
124	Eduardo	<i>Ah tá / então coloca aí a esfera</i>	
125	Yara	<i>Esférica eu teria só que pegar o raio</i>	
126	Marcos	<i>Porque quando você pensa / a única informação que eu tenho é daqui até aqui</i>	<i>Estica o braço, simbolizando extremidades</i>
127	Yara	<i>Até ali</i>	
128	Eduardo	<i>E o cone eu tenho o raio aqui na base / entendeu(?) Então é mais fácil eu pegar o raio da esfera</i>	<i>Levanta e abaixa o braço, indicando o raio do cone</i>
129	Yara	<i>A informação é o raio</i>	
130	Eduardo	<i>Então coloca o mais fácil</i>	
131	Yara	<i>Só a informação que a gente precisa que é o raio né(?)</i>	

A segunda parte do episódio 2 se inicia com a fala do Eduardo tentando definir a forma de propagação da onda sonora, que ao final da primeira parte do episódio 1 foi aproximada com a forma de propagação de uma onda na superfície de um lago. No turno 42 ele introduz no grupo duas novas formas de pensar sobre propagação da onda, a primeira seria uma propagação paraxial, ele joga suas mãos para frente (Figura 18A) indicando uma propagação paralela à superfície e abrindo a mesma, indicando a abertura de um cone. Logo em seguida, ele abandona esta ideia dizendo que a propagação da onda deveria ser na forma cônica, sendo que ao longo de sua propagação ela iria se abrindo para cima (Figura 18B). No turno 43, Yara concorda com explicação do colega e afirma que a expansão ocorreria não somente para cima, como também para os lados (Figura 18C).



Figura 18 - Descrição da forma de propagação da onda sonora com o um cone

Durante a discussão dos colegas, Marcos encerra o processo de escrita das questões anteriores, e começa então a participar das discussões da questão 4. Ele pergunta ao grupo, no turno 46, se a propagação seria esférica. Yara vai dizer que não faz diferença, sendo as relações as mesmas, entretanto ela não deixa claro quais seriam, para ela, as relações. Eduardo afirma logo em seguida que as relações não seriam as mesmas para o caso do cone e da esfera. Nos turnos 55 e 57, Marcos discute que o número de dimensões consideradas na propagação iria influenciar na distribuição da energia, sendo que em uma propagação bidimensional (Figura 19A) a energia se espalharia pelo perímetro do círculo se expandindo e, na esfera (Figura 19B) essa energia se espalharia por sua área.



Figura 19 - Descrição da forma de propagação da onda sonora esférica (A) ou circular (B)

No turno 64, Eduardo tenta justificar sua escolha pelo modelo de propagação da onda sonora na forma de um cone. Primeiramente ele usa como argumento a geometria do autofalante, sendo esta responsável pela emissão de ondas direcionadas. O outro argumento utilizado pelo estudante é o fato experimental de que a sensação audível de uma pessoa situada na frente da caixa de som ser diferente de uma pessoa situada atrás das caixas de som.

Em uma situação ideal, de uma fonte pontual, sem reflexão de ondas e, conseqüentemente, interferências destrutivas ou construtivas, o problema poderia ser resolvido considerando a lei do inverso do quadrado da distância. Uma consideração que precisaria ser feita é a distância entre a fonte de som e a primeira medida de intensidade sonora. Durante a propagação sonora, verifica-se que a intensidade sonora tem um decaimento que é proporcional ao quadrado da distância. Entretanto a questão não traz quaisquer informações sobre as condições de emissão e propagação da onda sonora para o caso proposto, fazendo com que os alunos deste grupo se sintam responsáveis por fazer suas considerações. Nesta questão, a resposta esperada era apenas a de que o grupo considerasse que as condições são adequadas à aplicação da lei do inverso do quadrado da distância e então aplicassem este conhecimento à situação.

Nos turnos seguintes (65 ao 73), Eduardo e Yara tentam desenvolver o modelo de propagação cônica, entretanto sem grande sucesso. No turno 70 ele argumenta que a energia irá se dividir na área da frente do cone, entretanto ele não consegue perceber, neste momento, como essa relação poderia ser útil para a realização das estimativas da intensidade sonora.

No relatório da aula anterior, o professor pontuou em uma das respostas dadas pelos estudantes, que o texto estaria demasiadamente extenso. Em sua correção, ele utilizou a palavra prolixo para indicar o motivo de sua insatisfação. A partir de então, em diversos momentos das aulas, os estudantes passaram a se preocupar com a extensão da resposta, como no caso do turno 68, no qual Eduardo percebe que a sua explicação poderia não ser bem avaliada pelo professor. Temos então um foco de tensão entre os sujeitos e as regras da atividade, sendo a atividade redirecionada, e, por vezes, alterada para se ajustar às orientações da disciplina e pelo motivo de ser bem avaliado na tarefa.

No turno 78, Marcos demonstra sua preocupação com a proposta de análise do problema por meio de ondas cônicas, apresentada por Eduardo, sugerindo que tal proposição acrescentaria uma complexidade desnecessária. Eduardo menciona a propagação da onda sonora como uma expansão cônica a partir da caixa de som, em uma dada direção (portanto, não esférica). Marcos questiona se, nesse caso, seria

apenas a área da base do cone que deveria ser considerada para considerações sobre distribuição de energia (turnos 83 e 89).

Entre os turnos 90 e 96, Eduardo tenta explicar sua forma de representação, dizendo que a propagação da onda seria paraxial (Figura 20A), que seria diferente da propagação de onda esférica (Figura 20B). Yara tenta entender melhor a representação feita por Eduardo, uma vez que visualmente, ele estaria, pela análise de seus gestos, expressando uma propagação retilínea, e sem abertura lateral. No turno 72, Marcos pontua a mesma dificuldade em entender a representação gestual do Eduardo, e afirma que se fosse simplesmente reto, a intensidade nunca iria diminuir. Yara também utiliza de gestos para exemplificar seu entendimento sobre a possível propagação cônica das ondas (Figura 20C). Eduardo reformula sua representação gestual no turno 94 (Figura 20D), aproximando-se da representação feita por sua colega. No turno 96 Eduardo apresenta uma representação gestual (Figura 20E) da forma de propagação esférica, tal como Marcos estaria sugerindo.



Figura 20 - Representações gestuais da forma da onda idealizada por eles. (A) propagação paraxial; (B) propagação esférica; (C) propagação cônica; (D) propagação cônica; (E) propagação circular

No turno seguinte (97), Marcos desenha em uma folha de papel a representação de um cone, e argumenta que seguindo tal modelo, não seria possível justificar o fato de uma pessoa escutar estando ela posicionada ao lado da caixa de som. Eduardo afirma inicialmente que uma pessoa realmente não escutaria, entretanto, no turno 100, ele pontua que a pessoa ouve menos sendo esse fato

favorável ao modelo de propagação cônica. Temos aqui um ponto de tensão do grupo ao tentar modelar um sistema físico. Por um lado, eles tentam construir um modelo ideal, na qual a propagação da onda sonora emitida pelo autofalante da caixa sonora geraria um cone perfeito, que se propagaria em uma frente de onda na horizontal, aumentando o raio da base a medida em que se afasta da fonte. Por outro lado, eles contrastam o modelo com evidências extraídas do mundo vivido que, muitas vezes, não condizem as condições idealizadas.

Eduardo e Yara, entre os turnos 110 e 116, ao responder ao questionamento feito por Marcos, de como seria possível uma pessoa ouvir o som estando ao lado de uma caixa de som se a propagação não for esférica, adicionam novos elementos à discussão. Primeiramente, Eduardo argumenta que, em um show, vários alto-falantes seriam utilizados e que alguns deles estariam direcionados para a região lateral da caixa de som. Em seguida, Yara argumenta que o próprio palco não isola o som, entretanto ela não deixa claro se sua opção seria pela representação cônica ou esférica. Após sua discussão com Eduardo, ela conclui que a explicação proposta pelo colega poderia ser demasiadamente longa, podendo não ser pertinente ao formato sugerido para o relatório. Novamente percebemos a tensão gerada como reflexo da correção do relatório da aula anterior, fazendo com que os estudantes limitem suas respostas, tentando não cometer o risco de serem considerados prolixos.

No fim da segunda parte deste episódio, Marcos e Yara utilizam como argumento o fato do enunciado ter fornecido apenas a distância da fonte até o ponto em que a intensidade sonora estaria sendo medida, não sendo possível o cálculo do raio inicial e final do cone. Eduardo reconhece que a utilização do modelo de propagação da onda sonora como sendo esférico simplificaria a questão, e concorda que o mesmo seja utilizado.

Entre o final da primeira parte e início da segunda parte do episódio, observamos uma flutuação no objeto da atividade, que foi impulsionada pelas ações e operações escolhidas pelo grupo para resolução do problema. Representamos na Figura 21 o sistema de atividade característico da segunda parte desse episódio.

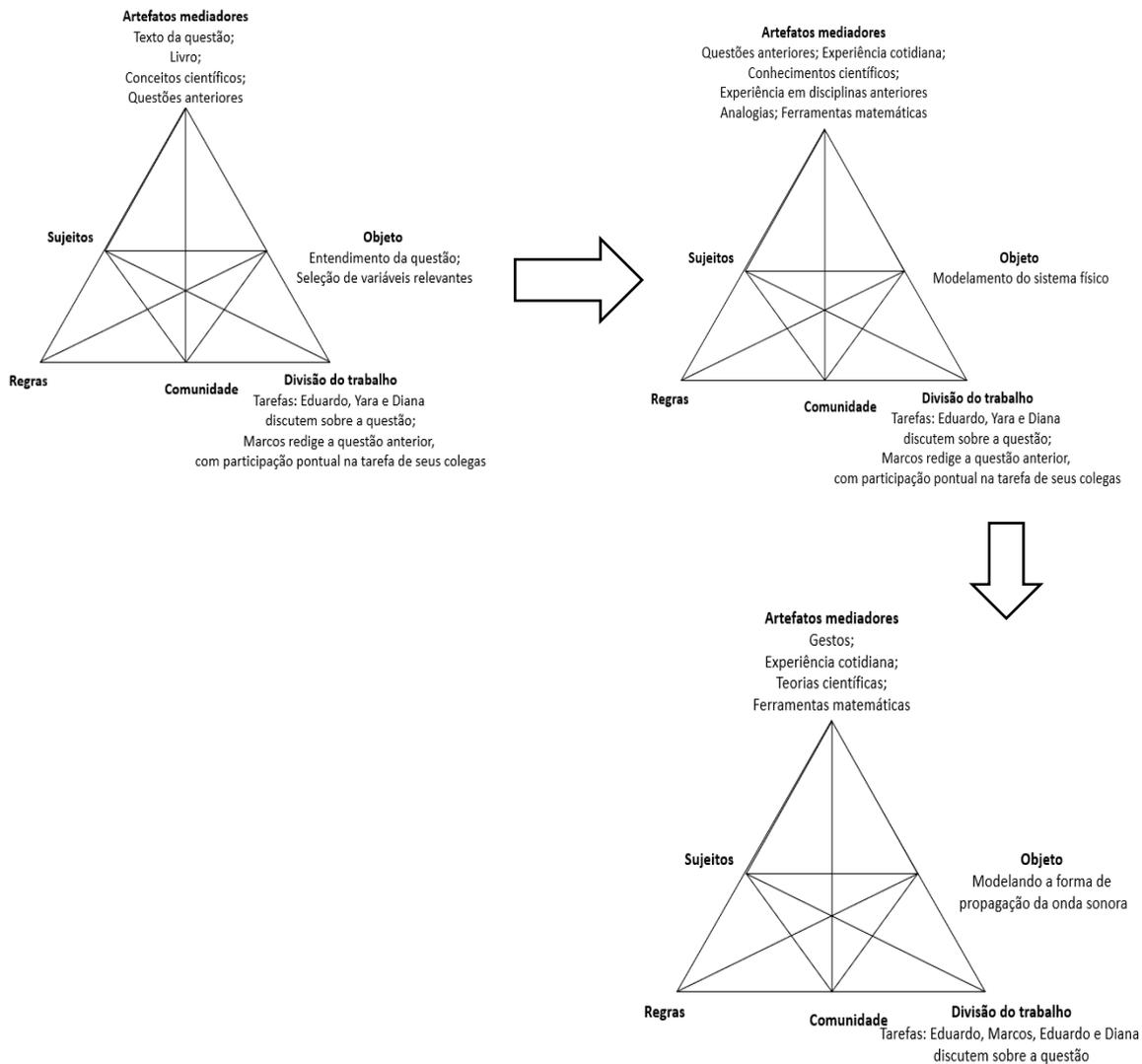


Figura 21 - Terceiro sistema de atividade do processo de resolução da questão 4 da quarta aula.

A terceira e última parte do episódio 2 é marcada pela tentativa de se calcular a diminuição da intensidade sonora a 10m e a 100m de distância da fonte sonora.

Tabela 26 - Episódio 2 - Terceira parte			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
133	Marcos	É o raio / agora como é que calcula(?)	
134	Eduardo	Você quer que a gente calcule(?)	
135	Marcos	Na verdade eu acho que eu estou com dificuldade de calcular	

136	Yara	Não é só a gente pegar ali olha // a intensidade é 120 decibéis // e $R^2$ / então tem que ser ao quadrado	Olhando o trecho do enunciado
137	Eduardo	$4\pi R$ ao quadrado / 100 / o outro é mil /	
138	Yara	É ao quadrado né(?)	
139	Eduardo	Dez mil ai você pega 120 e divide isso aqui e pega 120 e divide por isso aqui e pronto	Escrevendo no caderno
140	Marcos	Divide(?)	
141	Eduardo	É / você está dividindo por essa área / entendeu(?)	
142	Marcos	Ahn(?)	
143	Eduardo	Não(?)	
144	Marcos	Essa intensidade seria 1 watts por metro quadrado(?)	
145	Eduardo	Isso / você tem 120 watts	
146	Marcos	Não você tem 1 watts é pode ser	
147	Eduardo	É você tem 120 watts ai o que acontece / aqui você tem $4\pi$ vezes 100 metros quadrados / ai você vai dividir 120 watts por este negócio / ai você vai saber quantos decibéis são	
148	Marcos	Então ele já te deu 120 decibéis / e 120 decibéis é 1 watts por metro quadrado	
149	Eduardo	Isso	
150	Marcos	Ai se você divide 1 watts por metro quadrado e dividir de novo por 100 metros quadrados você está tendo watts por metro a quarta / entendeu(?) / é isso que eu estou dizendo	
151	Diana	Pula essa e volta depois	
152	Eduardo	Não sô / eu tô falando em dividir 120 watts	
153	Marcos	Ele te deu decibéis	
154	Eduardo	Tá / você considerando que é 1 metro quadrado lá no palco / é porque eu pensei na verdade em considerar 1 metro quadrado lá / por isso que eu estou falando / que lá tem 120	
155	Marcos	Entendi	
156	Eduardo	O lugar lá tem 1 metro quadrado / o lugar de emissão lá não tem como ter menos de um metro quadrado	Fazendo um círculo com a mão indicando a abertura da caixa de som
157	Marcos	Entendi	
158	Eduardo	Ter tem	

159	Marcos	<i>Então a gente tem que achar a potência no palco / a potência da caixa de som</i>	
160	Eduardo	<i>Você considerando que a potência do emissor tenha 1 metro quadrado</i>	
161	Marcos	<i>A potência de 1 watts</i>	
162	Eduardo	<i>Não que tenha 1 metro quadrado / ou seja / que vai dar 120 / ai você / na verdade eu pensei isso ai esqueci</i>	
163	Marcos	<i>Marcos escreve a questão e Eduardo faz as contas</i>	
164	Eduardo	<i>A 10 corresponde a 100 decibéis e o // não considerando o <math>4\pi</math> / a 10 corresponde a 100 e a 100 metros corresponde a 80</i>	

A terceira parte deste episódio se inicia com a dúvida do Marcos com relação aos procedimentos matemáticos que deverão ser realizados para a solução do problema. A intensidade sonora é medida em unidades de  $\text{watts/metro}^2$ . O ouvido humano é sensível a intensidades que variam entre  $10^{-12} \text{ W/m}^2$  até mais de  $1 \text{ W/m}^2$ , sendo este último considerado como o limiar da dor. Como esta faixa de valores relativa a sensação sonora é muito grande, utiliza-se a escala logarítmica, na qual a potência  $10^{-12} \text{ W/m}^2$  é tomada como referência e considerada como sendo 0 bel, um som dez vezes mais intenso ( $10^{-11} \text{ W/m}^2$ ) seria o equivalente a 1 bel, ou 10 decibéis como é comumente utilizado. No texto da questão é informado que o nível sonoro no palco é de 120 dB, o que é equivalente a intensidade sonora de  $1 \text{ W/m}^2$ . O conhecimento das duas formas de representação para a intensidade sonora ( $\text{W/m}^2$  e dB) eram essenciais para solução correta do problema.

No início percebemos uma confusão dos estudantes em trabalhar com essas duas unidades de medida. No turno 139 Eduardo sugere erroneamente que os 120 dB sejam divididos primeiramente por 100 e em seguida por 10 mil. Marcos tenta alertar seu colega que a grandeza em questão (120 dB) é referente a  $1 \text{ W/m}^2$ , entretanto, para ele, dividir esse valor por 100 metros quadrados não seria razoável, uma vez que sua análise dimensional estaria indicando o resultado de  $1 \text{ W/m}^4$ . A solução correta passa sim pela divisão de  $1 \text{ W/m}^2$  por 100, entretanto o fator 100 teria sua origem no aumento de 10 vezes no valor inicial do raio e não uma divisão da intensidade sonora por uma área de  $100 \text{ m}^2$ .

No final do episódio, de forma bastante caótica para quem está acompanhando a discussão, eles definem que a potência de 120 dB é referente a medida a 1 metro da fonte e dois deles (Eduardo e Marcos) iniciam, em silêncio, as operações para o cálculo da queda do nível de intensidade sonora. No último turno de fala, Eduardo apresenta, de forma oral, a solução correta para o problema. Na Figura 22 apresentamos nosso quarto e último sistema de atividade.

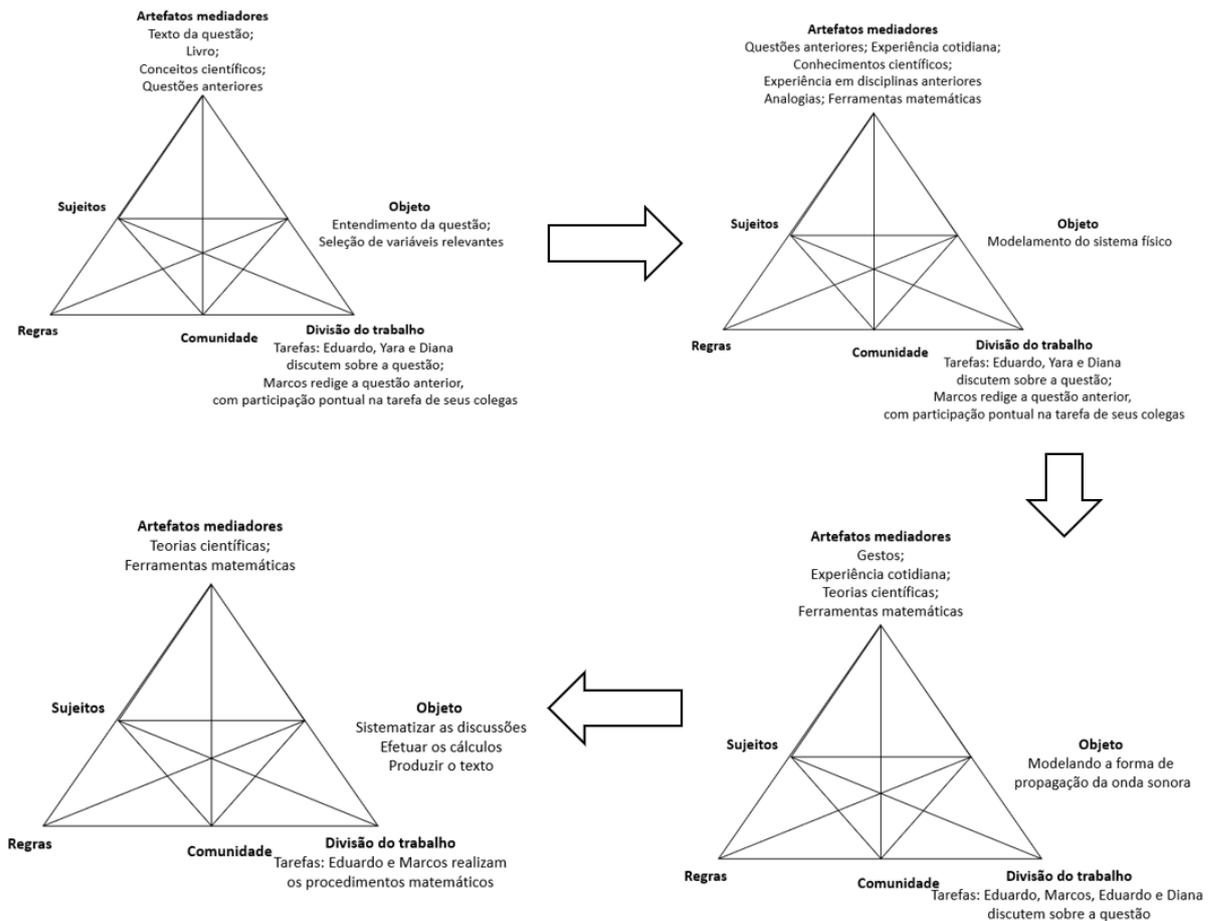


Figura 22 - Quarto sistema de atividade do processo de resolução da questão 4 da quarta aula.

Na Figura 23, apresentamos a resposta elaborada pelo Marcos. Infelizmente, talvez por falta de tempo hábil durante a aula, seu texto não foi apreciado pelos outros estudantes antes que o mesmo fosse corrigido pelo professor.

4. Imaginando que as ondas sonoras se propagam esféricamente a partir do palco e que no emissor a potência está distribuída em uma área de  $4\pi m^2$ , sabendo que  $120dB = ??? = 1Wm^{-2}$ , tem-se que a potência no palco é de  $4\pi W$ . Daí, essa potência se distribui a frente do palco em  $\frac{1}{4}$  de esfera. Sendo  $A = 4\pi r^2$  a área de uma esfera, tem-se

- Para 10m:  $I = \frac{1}{4} \cdot \frac{4\pi W}{4\pi(10m)^2} \Rightarrow I = \frac{1W}{400m^2}$
- Para 100m:  $I = \frac{1}{4} \cdot \frac{4\pi W}{4\pi(100m)^2} \Rightarrow I = \frac{1W}{40000m^2}$  *Confuso!*

Nível sonoro =  $\log\left(\frac{I}{I_0}\right) \cdot 10$ , logo para 10m = 90dB e para 100m = 70dB.

“Imaginando que as ondas sonoras se propagam esféricamente a partir do palco e que no emissor a potência está distribuída em uma área de  $4\pi r^2$ , sabendo que  $120db = 1Wm^{-2}$ , tem-se que a potência no palco é de  $4\pi W$ . Daí, essa potência se distribui a frente do palco em  $\frac{1}{4}$  de esfera. Sendo a  $A = \pi r^2$  a área de uma esfera, tem-se

- Para 10m:  $I = \frac{1}{4} \cdot \frac{4\pi W}{4\pi(10m)^2} \rightarrow I = \frac{1W}{400m^2}$
- Para 100m:  $I = \frac{1}{4} \cdot \frac{4\pi W}{4\pi(100m)^2} \rightarrow I = \frac{1W}{40000m^2}$

Nível sonoro =  $\log\frac{I}{I_0}$ , logo para 10m = 90dB e para 100m = 70dB”

Figura 23 - Resposta à quarta questão da aula 2. Questionário relativo ao tema de ondas sonoras

No início de seu texto, Marcos define que as ondas se propagariam esféricamente a partir do palco, aparentemente ele considerou que o nível de intensidade sonora foi medida a 1m de distância da caixa, considerando ainda uma distribuição uniforme e esférica dessa onda, a energia sonora seria de  $4\pi W$  gerando uma intensidade de  $1 w/m^2$ . Por fim ele considera que a emissão da onda pelo autofalante se distribui em uma área equivalente a  $\frac{1}{4}$  de esfera. Essas considerações não foram feitas durante as discussões, ele decidiu fazê-las por conta própria durante a escrita de seu texto. O professor categorizou o raciocínio utilizado pelo estudante

como sendo confuso, realmente não é possível compreender como ele chegou aos valores finais, e nem como ele utilizou a expressão  $Nível\ sonora = \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \cdot 10$  para solucionar o problema. Curioso observar que a solução apresentada não coincide com os valores corretos, apresentados por Eduardo no turno 156. Apesar disso, foi considerada, pelo professor, como parcialmente correta.

### **4.3. EPISÓDIO 3 – Aprendendo a atribuir sentidos às representações em física: Energia em uma onda se propagando em uma corda**

Selecionamos este episódio para análise porque nele identificamos que a forte presença da inscrição contida no problema proposto gera tensões na estrutura da atividade desenvolvida pelo grupo, gerando miniciclos expansivos. O episódio conta, ainda, com intervenções do professor, após solicitação dos estudantes, que redirecionam o trabalho do grupo. Destacamos, ainda, diferentes referentes utilizados pelos estudantes (onda estacionária, pêndulo e oscilador harmônico) para significar o problema proposto (qual seja, examinar a energia envolvida quando da passagem de um pulso em uma corda).

O episódio apresentado nesta sessão foi extraído da mesma aula do episódio 1, ou seja, da primeira aula da disciplina dedicada a resolução de problemas conceituais. O trecho apresentado aqui é relativo a resolução da questão 3 da lista destinada para essa aula. Como já comentado anteriormente, no dia dessa aula, houve um temporal na cidade que dificultou a chegada de alguns estudantes, no caso do episódio analisado aqui, as atividades são iniciadas sem a presença do Heitor, que chega a sala de aula durante a execução da tarefa e passa a participar das atividades.

A questão 3, apresentada na Figura 24, aborda os temas discutidos no capítulo 19 do livro texto, que se propõe realizar uma descrição de fenômenos ondulatórios. O capítulo inicia com a discussão das características oscilatórias de um pêndulo simples, em seguida discute ondas transversais e longitudinais, rapidez<sup>18</sup> da onda,

---

<sup>18</sup> O livro do Paul Hewitt utilizado nessa sala de aula é uma tradução da versão em inglês, que utiliza a palavra “speed” para indicar o módulo da velocidade e a palavra “velocity” para indicar o vetor velocidade, com módulo, direção e sentido. Na versão traduzida para o português a palavra rapidez é utilizada para se referir ao termo “speed”.

interferência, efeito doppler, ondas de proa e ondas de choque. O episódio a seguir inicia-se logo após o Marcos realizar a leitura do enunciado da questão.

3.	<p>A figura ao lado mostra uma onda que se propaga ao longo de uma corda em um plano horizontal (p.ex., em cima de uma mesa). A linha pontilhada mostra o perfil da onda em um certo instante e a linha cheia a mesma onda um pouco depois. As setas indicam o sentido do movimento do pedaço da corda que está em negrito. Na linha cheia, que região da corda tem mais energia e que região tem menos energia – perto da posição de equilíbrio ou nos extremos?</p>	
----	---	--

Figura 24: Terceira questão da aula 2. Questionário relativo aos temas de Vibrações e Ondas

Tabela 27 - Episódio 3: Primeira parte			
Turno	Locutor	Transcrição	Observações
1	Diana	<i>Então a energia não tem a ver com a amplitude?</i>	
2	Marcos	<i>Tem</i>	
3	Diana	<i>Então nos pontos onde a amplitude é maior a energia é maior né?</i>	
4	Marcos	<i>Sim / nos deslocamentos máximos a energia é maior / e na posição de equilíbrio / por exemplo quando você pega uma onda estacionária nos nós a energia é igual a zero</i>	
5	Eduardo	<i>Depende do que que ele está falando / digamos a energia que tem a / como se diz / a energia potencial aqui é maior / mas a cinética aqui / essa parte aqui está com maior velocidade / entendeu?</i>	
6	Marcos	<i>Então / mas quando ela atravessa na posição de equilíbrio é zero?</i>	
7	Eduardo	<i>Ela está com energia cinética maior / porque se você for fazer a derivada da velocidade aqui olha</i>	
8	Marcos	<i>Entendi</i>	
9	Eduardo	<i>Você olha a inclinação aqui / a inclinação é zero / ai você fala a energia / qual energia? / enfim</i>	<i>Referindo-se a crista da onda</i>
10	Marcos	<i>É verdade</i>	
11	Eduardo	<i>Pegadinha</i>	

12	Marcos	<i>Eu não entendi esse desenho até agora / na verdade são duas cordas diferentes(?) / ah não / uma é pontilhada / agora que eu vi</i>	<i>Relê a questão em voz alta, e olha atentamente para a figura.</i>
<i>Yara pede atenção dos colegas para ler sua resposta a questão 2</i>			
13	Diana	<i>A linha cheia né? Que região da corda tem mais energia e que região da corda tem menos energia / então / perto da posição de equilíbrio / ela tem / ela tem as duas energias / tanto a potencial quanto a cinética</i>	<i>Todos olhando para a folha com as questões.</i>
14	Marcos	<i>Perto da posição de equilíbrio aqui? / Não então / acho que não / é o que ele falou mesmo / elas estão se convertendo</i>	<i>Indicando o nó da onda na figura</i>
15	Diana	<i>Ah é verdade / é</i>	
16	Marcos	<i>Uma entre a outra</i>	
17	Diana	<i>Aqui ela está maior e aqui</i>	
18	Marcos	<i>Tipo assim / aqui<sup>(a)</sup> é zero tipo assim a velocidade mas ai ela vai voltar / com aceleração máxima / aqui<sup>(b)</sup> a velocidade é máxima</i>	<i>(a) Apontando com o lápis para a crista da onda representada (b) Apontando para o nó da onda na figura</i>
19	Diana	<i>Aham / a energia aqui</i>	
20	Eduardo	<i>É porque toda oscilação é uma troca de energia cinética e potencial</i>	
21	Marcos	<i>É porque eu estava pensando em onda estacionária</i>	
22	Diana	<i>Ao longo do período é o mesmo</i>	
23	Diana	<i>Então a gente podia diferenciar as energias e falar né</i>	
24	Eduardo	<i>No caso aqui por exemplo / ele está mostrando a amplitude / no caso a amplitude está ligada a energia potencial / ai se falar assim / a gente pode falar das duas e no caso aqui estamos discutindo a amplitude / esse ponto aqui tem mais energia que esse ponto aqui</i>	<i>Apontando para crista e em seguida para o nó da onda</i>
25	Diana	<i>Tem mais energia potencial</i>	
26	Eduardo	<i>Que a amplitude está ligada a energia potencial</i>	
27	Marcos	<i>Então não sei na verdade</i>	

28	Eduardo	No gráfico velocidade vezes tempo / a área debaixo da curva te da // isso aqui é a posição em função do tempo / então da energia potencial	
((fazem uma pausa longa (38 s), fazem a leitura silenciosa do texto da questão e do livro))			
29	Eduardo	Vamos chamar o Professor e perguntar que energia que ele está querendo saber // porque eu falei e não sei se você estava prestando atenção é que o tempo todo está tendo uma troca de energia potencial para energia cinética / no ponto de cima tem energia cinética menor aí no próximo do zero tem energia cinética maior	Dirigindo-se à Yara, que estava ocupada com a redação da questão anterior.
30	Yara	Mas é num plano / numa mesa	
31	Diana	É numa corda	
32	Marcos	Ah é mesmo / é numa mesa	
33	Yara	É numa mesa / tipo assim a corda está balançando numa mesa	Vibra a mão na horizontal sinalizando o movimento da corda em um plano
34	Marcos	É verdade está no plano horizontal	
35	Diana	Então não tem energia potencial	
36	Marcos	É / ela não está mudando de altura	Balança a mão para cima e para baixo indicando o suposto movimento vertical
37	Yara	É a mesma energia potencial gravitacional	
38	Diana	A energia potencial que eu falo é da posição de equilíbrio até a posição do máximo que a partícula oscila / entendeu? / porque que uma coisa oscilando assim também vai ter uma energia potencial / potencial tipo elástica	
39	Eduardo	Potencial você quer dizer da posição / a energia relativa ao ponto de equilíbrio	
40	Diana	Então por exemplo / essa parte aqui ela está mais próxima da posição do equilíbrio / então ela tem energia potencial menor e energia cinética maior / que é o momento que ela está com energia cinética máxima	
41	Yara	Mas então / essa energia não seria tipo a mesma? as duas?	
42	Diana	Não porque quando chega aqui a cinética para	

43	Yara	<i>E a potencial aumenta</i>	
44	Diana	<i>E a potencial aumenta</i>	
45	Eduardo	<i>A energia potencial é máxima / ao longo do período elas são iguais</i>	
46	Yara	<i>Mas aí tem que ver qual energia né</i>	
47	Diana	<i>Ele está falando comparado nos dois pontos / é isso que a gente tem que falar / entendeu? / eu acredito que não dá para você falar que uma energia é maior que a outra se você não falar que energia / porque no final das contas / as duas são iguais</i>	
48	Yara	<i>As duas são iguais / exatamente / o que muda vai ser só qual energia</i>	
49	Diana	<i>É verdade / mas esse capítulo não fala de energia</i>	
50	Yara	<i>Eu não sei também</i>	
51	Marcos	<i>Quer chamar ele?</i>	
52	Diana	<i>Mas na verdade uma energia vai se transformar na outra</i>	
53	Yara	<i>É na outra</i>	
54	Diana	<i>É verdade</i>	

No início do episódio, Diana recupera a relação entre energia de uma onda e sua amplitude, foco do problema anterior tratado pelo grupo nesta mesma aula, que analisamos no episódio 1. Como vimos naquela ocasião, Diana havia solicitado a ajuda dos colegas no entendimento da relação entre energia e amplitude de uma onda, tendo sido apenas parcialmente contemplada. Marcos (turno 3 e 5) recupera esta ideia e a interpreta à luz de um outro fenômeno, qual seja, uma onda estacionária.

Nos turnos 5 e 9, Eduardo indaga seus colegas sobre que tipo de energia eles estariam considerando, reconhecendo que dependendo do ponto da corda analisado, os diferentes tipos de energia – cinética e potencial – assumiriam um determinado valor. No turno 6, Marcos novamente retoma a ideia de que na posição de equilíbrio a energia seria nula, retomando a análise apoiada no comportamento de uma onda estacionária.

Essa associação entre o problema proposto (propagação de um pulso em uma corda) e o novo referente (onda estacionária) é problemática. Ondas estacionárias são

casos específicos nos quais duas ou mais ondas interferem entre si de forma a produzirem nodos e antinodos em pontos fixos. A associação feita pelo estudante pode ser interpretada de diferentes modos. Ele poderia não ser capaz de distinguir o que é uma onda estacionária, o que nos parece pouco provável. Outra interpretação seria a de que o aluno, diante de uma situação nova e problemática, busca apoio em referentes para solucionar o problema. Ao fazê-lo, não considera quais conceitos são específicos da análise deste tipo de onda, e que não seria coerente relacionar às conclusões entre os dois sistemas – onda estacionária e um pulso de onda se propagando em uma corda. Uma terceira possível interpretação seria a dificuldade em compreender o tipo de onda que é apresentado na figura, uma vez que Marcos teve dificuldade em compreender a inscrição trazida pelo problema (tal como enuncia no turno 12).

Do ponto de vista da Física Ondulatória, é também problemática a suposta relação entre a energia do pulso e o deslocamento da corda (que os estudantes identificam como amplitude da onda). Embora a energia de uma onda venha a ter relação direta com a amplitude, uma vez que é necessário a realização de trabalho para o deslocamento perpendicular das partículas da corda com relação a propagação de uma onda mecânica, isso não significa que para qualquer tipo de onda a energia das partículas nos antinodos sejam maiores ou menores que a energia nos nodos. Nos livros textos do ciclo básico encontramos principalmente a análise de situações envolvendo o movimento harmônico simples, no qual a média tanto das energias potenciais quanto da cinética são dependentes da amplitude ao quadrado<sup>19</sup>. Entretanto, a situação apresentada no problema não pode ser considerada um movimento harmônico simples, uma vez que ela representa apenas um pulso.

A partir das sugestões feitas por Eduardo, o grupo realizou novas ações para tentar entender como se comparam as energias nos diferentes pontos da corda (turnos 13 a 29). O raciocínio com base em um oscilador (proposto por Eduardo)

---

<sup>19</sup> Em uma análise clássica do movimento harmônico simples, cuja força restauradora é diretamente proporcional ao deslocamento, o movimento da corda pode ser descrito por uma função senoidal. Nesse sentido, as expressões para energia cinética e potencial são, respectivamente:  $K(t) = \frac{1}{2}kA^2\sin^2(\omega t - \varphi)$  e  $U(t) = \frac{1}{2}kA^2\cos^2(\omega t - \varphi)$ , sendo “k” uma constante denominada número de onda, “A” a amplitude da onda, “ $\omega$ ” a frequência angular e “ $\varphi$ ” a constante de fase. Assim, a energia mecânica total desse tipo de onda é dado pela expressão  $E = K + U = \frac{1}{2}kA^2$ .

prevalece sobre a proposta inicial de Marcos de analogia como ondas estacionárias. Entretanto, eles se deparam com a dificuldade de quantificar a energia em cada ponto uma vez que, para eles, estariam ocorrendo sucessivas transformações entre energia cinética e energia potencial.

Esse é um ponto de contradição no sistema, tal como colocado por Engeström (2016), no qual os estudantes estariam tentando aplicar, sem sucesso, uma ferramenta consolidada em outros contextos ao novo objeto. Segundo o autor, as tentativas de superação das contradições são o motor necessário para a aprendizagem expansiva em um sistema de atividade. Inicia-se assim um miniciclo de aprendizagem expansiva no qual, a partir de um questionamento e análise do problema, os estudantes tentam modelar uma nova solução para a questão.

No turno 30, Yara chama atenção para um elemento que havia ficado despercebido pelo grupo na leitura do enunciado do problema, qual seja, a corda, oscila no plano horizontal, apoiada em uma mesa. A introdução deste elemento gera um novo ponto de tensão no grupo, uma vez que, em um movimento horizontal, não haveria mudança da energia potencial gravitacional. Sendo assim, a hipótese inicial de que estariam ocorrendo sucessivas transformações de energia cinética em potencial gravitacional deveria ser abandonada.

Diana tenta reelaborar o modelo explicativo sugerido por Eduardo mantendo a ideia de transformação de energia, ao alegar que a energia potencial seria elástica e não gravitacional, ou seja, associada ao deslocamento de uma partícula em oscilação em relação a seu ponto de equilíbrio (turno 38). A estudante não deixa claro neste episódio que tipo de força que poderia estar associada a este potencial. Vemos aqui o potencial de colaboração de ideias no grupo e a construção coletiva de uma explicação que vai se tornando mais refinada (embora ainda incorreta do ponto de vista da Física Ondulatória) à medida em que as contradições são apontadas.

A proposta de Diana manteve a ideia de transformação da energia potencial em cinética, tendo tido boa aceitação pelo grupo. Entretanto, nas falas do grupo transparece uma dúvida quanto à resposta a ser dada ao problema: se nos nodos estaria concentrada toda energia cinética e esta energia seria transportada para os antinodos na forma de energia potencial, como seria possível decidir onde a energia seria maior? Nesse ponto o miniciclo de aprendizagem potencialmente expansivo fica

estagnado e precisa que um novo elemento seja introduzido na atividade para que os sujeitos possam avançar.

A primeira parte deste episódio termina quando os estudantes solicitam a presença do professor. Este prontamente atende ao chamado dos estudantes.

Tabela 28 - Episódio 3: Segunda parte			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
55	Eduardo	Ô Professor / questão 3 aqui você pergunta qual região da corda tem mais energia / mas você não fala qual tipo de energia / por causa que aqui no movimento está sendo	
56	Diana	A energia está sendo trocada	
57	Eduardo	Está trocando energia potencial com a cinética / num ponto tem maior energia potencial e no outro tem energia potencial zero porém cinética é máxima / aqui ó a energia potencial é máxima e a cinética é próxima / é zero / a derivada é zero	
58	Professor	Nesse ponto aqui é? ela está assim não é?	Balançando a mão na horizontal
59	Eduardo	Isso	
60	Professor	A potencial máxima lá em cima porquê	
61	Eduardo	Oi	
62	Diana	Porque isso aqui não é potencial em relação ao ponto de equilíbrio?	
63	Eduardo	A gente está considerando	
64	Professor	Isso é uma onda se propagando em uma corda / ela está se propagando assim / a energia potencial gravitacional é a mesma em todos os pontos	Continua balançando a mão na horizontal
65	Eduardo	Mas a gente não está falando de energia potencial gravitacional não / nós estamos falando de potencial devido à posição de equilíbrio	
66	Professor	Potencial o quê	
67	Diana	Elástica	
68	Professor	Elástica porque quando ela está deformada / aqui em cima qual o tamanho da corda? / o tamanho da corda aqui <sup>(a)</sup> é / esse cara em cima <sup>(b)</sup>	<sup>(a)</sup> Indicando com o dedo na figura a região no entorno do nó da corda.

		<i>ele tá desse tamanho olha / aqui tem pouco / agora olha aqui / quando acorda tá aqui olha o tamanho dela e olha o tanto que ela tá</i>	<sup>(b)</sup> Apontando com o dedo o ponto mais alto da corda.
69	Diana	A mesma	
70	Professor	Oi?	
71	Eduardo	Não / está maior	
72	Diana	Está maior / ah tá	
((Chega o novo estudante para o grupo))			
73	Diana	Mas espera ai / eu ainda não estou entendendo	
74	Eduardo	A energia potencial que ele falou	
75	Professor	Aqui em cima <sup>(a)</sup> / quando a energia está aqui em cima tem energia cinética?	<sup>(a)</sup> Indicando com o dedo na figura a região no entorno do nó da corda.
76	Diana	Não	
77	Professor	Não né? / ela está assim para e volta / não / ta certo? / aqui assim a energia cinética é?	
78	Eduardo	Zero	
79	Professor	Quase zero né? / a energia potencial seria elástica / você vê que ela está deformada né? / olha o tamanho dela? / qual o tamanho dela quando ela está reta? / seria este tamanho aqui / a diferença daqui para cá é muito pequena / então ela não está deformada / ok? / agora pensa neste pedaço aqui / olha nesse pedaço que está aqui / ele tem muita cinética não tem? / qual o tamanho dela normal? / seria este / mas ela esta desse tamanho todo / ela está muito deformada aqui / significa que aqui você não tem quase energia / e aqui você tem muita energia	Durante toda a explicação ele vai apontado com o indicador para as posições na figura correspondentes a sua explicação.
80	Diana	Se a gente estivesse pensando em uma partícula oscilando	
81	Professor	Isso ai é uma onda que está se propagando / não é uma onda estacionária / é uma onda que está propagando / então neste instante este pedaço da onda tem muita energia / e essa energia daí a pouco vai para onde? / vai para cá né? / quando esse pedaço vier para cá essa energia vai estar ali olha / é por isso que a onda / o que que é? / é a energia que se propaga de um ponto ao outro	Durante toda a explicação ele vai apontado com o indicador para as posições na figura correspondentes a sua explicação.

82	Marcos	Esse negócio que ela está <sup>(a)</sup> aqui / maior que ela deveria estar ela está deformada / ela está	<sup>(a)</sup> Indicando a região ao redor do nó da onda
83	Eduardo	Elástica	
84	Marcos	Esticada	
85	Eduardo	Esticada com energia potencial elástica	
86	Marcos	Ok	
87	Diana	Se fosse um Pêndulo fazendo assim em uma folha / e a folha fazendo assim / eu analisaria da mesma forma? / se eu pegasse tipo	Usa o movimento do antebraço para simbolizar o movimento de um pêndulo oscilante
88	Professor	Não / péra ai / isso aqui assim é diferente	
89	Diana	Porque eu pensei que tipo assim	
90	Professor	Por que isso assim <sup>(a)</sup> / você tem uma energia que está assim / e uma energia que está assim <sup>(b)</sup> né? / entendeu?	<sup>(a)</sup> Balança o braço imitando o movimento do pêndulo oscilando <sup>(b)</sup> Indica com as mãos a diferença de altura entre duas posições diferentes de um pêndulo
91	Diana	Sim	
92	Professor	Você não tem energia se propagando / você tem uma onda que está propagando energia / ok? / essa é a situação que eu estou analisando / e eu coloquei assim <sup>(a)</sup> para não dar problema com a energia potencial gravitacional / ta bom?	<sup>(a)</sup> Oscilando na horizontal
93	Diana	Mas se fosse no caso do treco assim / aqui teria a potencial né?	
94	Professor	É / aqui assim é um pêndulo normal / cinética se transformando em potencial e potencial em cinética	Balançando o braço simbolizando o movimento de um pêndulo
95	Eduardo	Então no caso de uma propagação dessa ai em cima da mesa no caso ó / sem atrito / desprezando o atrito / enfim / e uma corda que não se comprime nem se estende	
96	Diana	Ai não dá para propagar a onda né?	
97	Professor	Você não propaga onda nela	
98	Eduardo	Não? / por que?	

99	Professor	<i>Uai / como é que se propaga onda? / você pega ela aqui / ela está esticada né / ai você estica ela não é?</i>	<i>Faz gestos com a mão indicando um puxão para se esticar uma corda</i>
100	Eduardo	<i>Ah você está falando em uma corda esticada / a corda está solta aqui / ai eu faço assim e ela vai</i>	
101	Professor	<i>Pode ser / uma corda solta que você faz assim e ela vai / mas ela tem que deformar</i>	<i>Balança as mãos para cima e para baixo</i>
102	Eduardo	<i>Vai deformar / a se vai deformar você está falando que vai ter energia elástica</i>	
103	Professor	<i>Isso</i>	
104	Eduardo	<i>Ah tá</i>	
105	Diana	<i>É porque quando a gente faz assim<sup>(a)</sup> / não parece que a corda faz assim<sup>(b)</sup> / quando está no alto ou está no baixo<sup>(a)</sup> / a gente não consegue visualizar que a corda faz isso e isso<sup>(b)</sup> / mas se pegar uma foto e cortar um segmento assim<sup>(c)</sup> / ai você vê a diferença</i>	<i>(a) Sobe e desce a mão (b) Abre e fecha as mãos indicando a distensão da corda (c) Movimenta as duas mãos de cima para baixo indicando um corte em um segmento da corda</i>
106	Professor	<i>É</i>	
107	Diana	<i>É como se nessa região tivesse mais corda do que na região de cima / então por isso que a energia</i>	
108	Professor	<i>Na verdade não tem mais corda / a corda aqui<sup>(a)</sup> que vai estar esticada</i>	<i>(a) Indicando a região no entorno dos nós da corda</i>
109	Diana	<i>Será? / eu acho que não hein</i>	<i>Todos riem, inclusive o professor. O professor se afasta do grupo e deixa a discussão entre os alunos prosseguir.</i>
110	Marcos	<i>É porque ela estava nesse estágio aqui e depois ficou nesse estágio aqui / então esse pedaço de corda que está aqui é o mesmo pedaço de corda que está aqui</i>	<i>Indicando na figura a região do nó e da crista da onda.</i>
111	Diana	<i>É o mesmo?</i>	
112	Marcos	<i>É o mesmo</i>	
113	Yara	<i>Mas não parece que a corda estica</i>	
114	Marcos	<i>Tem que ser / porque esse ponto aqui não pode ter se deslocado para lado nenhum</i>	<i>Indicando a crista da onda</i>

115	Eduardo	Não / ele pegou o mesmo intervalo de tempo	
116	Diana	Ele pegou o mesmo intervalo de tempo / ele tipo cortou aqui o tempo	
117	Eduardo	Isso aqui é no mesmo intervalo de tempo / ai a corda tem um pedaço maior que nesse aqui	Indicando a região entre o nó e a crista da onda na figura
118	Marcos	Não pera	
119	Diana	Por isso que eu acho que essa física ai não está certa não	Se dirigindo ao professor

No início do episódio Eduardo e Diana fazem um resumo para o professor do que foi discutido pelo grupo até então. O professor balança a mão sinalizando o movimento da corda e questionando o porquê de a energia potencial ser máxima nas cristas se a corda, propagando-se na horizontal, não sofreria mudança de energia potencial gravitacional. No turno 66, o professor indaga que tipo de energia potencial que os estudantes estariam considerando. Diana responde prontamente que seria energia potencial elástica, entretanto ela não explica como esta energia poderia estar armazenada na crista da onda. Podemos interpretar as falas de Diana com algumas inferências adicionais: considerando que eles estão trabalhando com o modelo de um oscilador harmônico (oscilações, de modo mais geral), resgatam a relação entre deslocamento de uma partícula em relação à posição de equilíbrio e a energia potencial elástica. ( $E_p = \frac{1}{2} kx^2$ ). Talvez Diana não saiba justificar isso, mas é um conhecimento consolidado e considerado não problemático.

No turno 68, o professor faz uso da figura da questão para indicar os pontos da corda que sofrem estiramento. Ele mostra que na crista a corda está praticamente do mesmo tamanho que ela teria se não estivesse oscilando; entretanto, próximo à região do nodo, a corda estaria esticada. O grupo reage com estranheza em relação a esta ideia e o professor, após breve interação com o grupo (turnos 69 a 78) enuncia uma solução para o problema no turno 79 (“significa que aqui você não tem quase energia / e aqui você tem muita energia”). No turno 81, ao responder a um questionamento de Diana, o professor destaca a diferença entre o sistema em questão e um oscilador harmônico, como em uma onda estacionária, mas não é certo que os estudantes o tenham compreendido.

Temos aqui uma tensão entre os papéis desempenhados por professor e estudantes, ou seja, na divisão de trabalho na construção compartilhada de uma solução considerada cientificamente correta pelo grupo. O tipo de análise feita pelo professor, a partir da observação do comprimento das cordas nas regiões delimitadas na figura, aparentemente era uma novidade para os estudantes e foi introduzida pelo professor como um novo recurso mediacional, ou procedimento a ser executado para a análise do problema. Esse recurso, ao ser apresentado pelo professor, provocou o início de um novo miniciclo de aprendizagem, enriquecido pelo fato de que os estudantes optaram por não reproduzirem passivamente a explicação dada. Tal como Engeström (2016), vemos que a introdução de um elemento novo no sistema pode provocar o surgimento de outros miniciclos potenciais de aprendizagem expansiva. As reações do grupo são, no início, de esclarecimento e vão tomando ares de questionamento e contestação (especialmente Diana, nos turnos 109, 113 e 119). Tais questionamentos parecem se dirigir a dois problemas: 1. Compreender porque a solução anterior do grupo não estaria correta; 2. Compreender o modelo proposto pelo professor. No segundo caso, são evidentes as dificuldades dos estudantes na leitura da inscrição utilizada no enunciado do problema e sobre a qual se apoia a solução apresentada pelo professor.

Voltemos aos argumentos utilizados nos turnos de fala dos estudantes em interação com o professor (turnos 80 a 119). O fato de no ponto mais alto da onda não haver praticamente nenhum tipo de energia causou um ponto de tensão na atividade, provocando a emergência de novos questionamentos. A segunda ação dos estudantes foi a busca por modelos ou situações semelhantes que possam ser comparados ao problema em questão, com ocorreu no turno 80, no qual Diana tenta comparar o sistema com o pêndulo simples. O professor argumenta que as situações não são comparáveis, uma vez que um pêndulo oscilando não é essencialmente uma onda se propagando. Para isso, uma mais uma vez, ele utiliza-se de seu modelo explicativo com base no tamanho da corda mostrado na figura para justificar que praticamente toda energia está concentrada na região próxima ao nodo da corda.

No turno 87, novamente Diana tenta relacionar a questão ao movimento de um pêndulo, adicionando um novo elemento, de uma folha de papel se movendo na horizontal, na qual o pêndulo oscilante desenharia um padrão de onda na folha similar

ao mostrado no desenho. O professor apresenta elementos para justificar que os dois não são comparáveis no que se refere à análise das energias, sendo que no caso do pêndulo oscilante haveria energia potencial gravitacional, além disso haveria uma outra energia que estaria relacionada ao movimento da folha de papel na qual estaria sendo desenhada a onda pelo pêndulo.

Apesar de, aparentemente, os alunos aceitarem o fato de que na situação descrita a corda sofreria uma deformação significativa próxima a região dos nodos, eles parecem não aceitar ainda o modelo de deformação como geral para explicação da propagação de uma onda em uma corda. No turno 95 Eduardo sugere que a onda na corda se propagaria sem atrito e sem que a corda sofresse qualquer deformação. A elaboração de sistemas idealizados é uma característica do estudo da Física que é internalizada pelos estudantes ao longo de sua escolarização. Para isso, o método consiste em partir de situações simplificadas e ir paulatinamente introduzindo elementos do mundo real, aumentando a complexidade da análise do problema. Aqui, no entanto, tal simplificação (corda que não se deforma) implicaria na impossibilidade dela ser posta em oscilação.

Respondendo à fala do Eduardo, Diana no turno 96 afirma que não seria possível propagar a onda se não houvesse estiramento na corda. Embora a análise deste turno de fala nos dê a impressão de que a estudante já compreendeu a essência da explicação do professor, observamos nos turnos 107, 109 e 111 que ela estaria associando o maior comprimento da corda na região próxima ao nodo ao deslocamento de corda para esta região. Yara também manifesta seu estranhamento com a necessidade do estiramento da corda para propagação da onda pois esse estiramento não é, para ela, um elemento observável. No turno 117 Eduardo acompanha o raciocínio de suas colegas, afirmando que na região próxima aos nodos teria um pedaço de corda maior, mas não parece compreender que a inscrição representa duas posições sucessivas da corda (ele fala de intervalos de tempo e não a dois instantes em que a corda é representada). A segunda parte deste episódio termina com a Diana discordando da explicação dada pelo professor.

Podemos observar que o miniciclo de aprendizagem expansiva está em desenvolvimento, nas duas primeiras partes do episódio 3, os alunos estão desenvolvendo ações diversas de elaboração, comparação, avaliação e validação de

modelos teóricos. Eles estão em um processo reflexivo intenso, e mesmo com a participação ativa do professor, na tentativa de propor uma nova solução para o problema, os estudantes continuam a fazer questionamentos. Pontos de contradição continuam existindo, tais como: uma corda precisa ter elasticidade (ou seja, sofrer deformações) para propagar uma onda? Não existiria mesmo uma energia potencial associada à crista da onda? Como comparar esse sistema a outros cujos resultados e análises físicas são conhecidos e familiares aos estudantes? Como sugere Engeström (1987), as contradições são o motor necessário para o surgimento da aprendizagem expansiva. Conflitos, dilemas, perturbações e inovações locais podem ser analisados como manifestações das contradições.

A terceira parte do episódio tem início logo na sequência do episódio 2, sem a presença do professor, que se dirigiu a outro grupo.

Tabela 29 - Episódio 3: Terceira parte			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
120	Marcos	<i>Essa corda pontilhada / é a mesma corda em uma posição anterior</i>	<i>Sinalizando para as duas representações da onda, a pontilhada e a de linha contínua</i>
121	Eduardo	<i>Como é?</i>	
122	Marcos	<i>Então é a mesma corda em um instante de tempo anterior / essa pontilhada aqui</i>	
123	Eduardo	<i>Não é o mesmo tamanho / é que naquele instante de tempo ela tem aquele tamanho</i>	
124	Marcos	<i>Ok / mas em um instante de tempo depois é a linha cheia / esse pedaço aqui de corda se transformou nesse pedaço aqui de corda</i>	<i>Apontando para o nó e em seguida para a crista da onda na figura</i>
125	Eduardo	<i>Sim</i>	
126	Diana	<i>Então ela distendeu e comprimiu</i>	
127	Marcos	<i>É</i>	
128	Heitor	<i>Então é a mesma corda em dois instantes de tempo</i>	<i>lê parte da questão em voz alta antes de enunciar a frase neste turno</i>
129	Marcos	<i>Então / esse ponto é esse ponto / e esse ponto é esse ponto</i>	<i>Indica pontos similares nas duas representações</i>

			– onda de linha pontilhada e continua
130	Diana	Eu acho tão difícil de visualizar isso	
131	Marcos	Que cada partezinha ali da corda oscila somente para cima e para baixo	Balança a mão para cima para baixo
132	Eduardo	Vamos pensar / suponha que você está com a câmera filmando / certo? / ai tem aquela taxa de quadros lá / digamos 20 quadros que é super rápido / nesse ponto aqui <sup>(a)</sup> você vai ver um pontinho / porque a velocidade está pequena e tal / ai na hora que ela acelerar aqui <sup>(b)</sup> em baixo você vai ver / no mesmo instante de tempo você vai ver ela grande	<sup>(a)</sup> Apontando para a crista da onda da figura <sup>(b)</sup> Apontando para o nó da onda da figura
133	Diana	E tem uma energia elástica	
134	Eduardo	Você entendeu o que eu estava querendo falar?	
135	Marcos	Tipo assim / é uma ilusão?	
136	Eduardo	É / o que eu estou querendo falar é que não está tendo uma compressão e uma distensão / não necessariamente esse exemplo / eu estou falando que aqui / por nesse ponto você ter uma velocidade muito maior / nesse intervalo de tempo vai dar uma impressão que ela está maior / entendeu	Apontando para o nó da onda representada na figura
137	Marcos	Mas aqui é tipo / parei uma foto sem distorção	
138	Diana	Parei duas vezes / tirei duas fotos	
139	Marcos	É se você pegar / eu peguei dois instantes seguidos e sobrepus	
140	Eduardo	Então / dois delta t igual / digamos / o tempo de captura foi igual / por exemplo 10 milissegundos para cada um / ai nesse tempo aqui quem possui uma velocidade muito pequena ele fica pequeno / nesse aqui que a velocidade é grande ele vai alongar	Apontando para a crista e nó respectivamente
141	Diana	Mas como assim? / a velocidade é a mesma não é?	
142	Eduardo	Não ué / aqui a energia cinética é próxima de zero / ou seja a velocidade é próxima de zero / aqui a energia cinética é máxima / então a velocidade é maior aqui	Apontando para a crista e nó respectivamente

143	Diana	Sim	
144	Eduardo	Sò estou confundindo vocês / só pensando diferente	
145	Diana	Mas eu não sei se tem que analisar assim / ele falou uma coisa que eu não entendi / se você pensar nisso em pontinhos / esse pontinhos aqui eles vão estar mais juntos mesmo / se você pensar em um pontinho oscilando aqui / ai a diferença é que um pontinho que estava aqui ele está mais para baixo entendeu? / o outro pontinho está um pouco mais para cima / eles se distanciaram pouco / então a gente não consegue perceber isso na corda mas ela	
146	Marcos	Eu entendi o que você está querendo dizer	
147	Eduardo	Ai você está aceitando o que eu falei / que a corda não tem elasticidade / que a elasticidade é muito pequena / entendeu?	
148	Diana	Mas é igual ao que o Professor falou / ela não vai / se a corda tiver uma elasticidade muito pequena ela não vai propagar onda / a energia elástica é maior no ponto de equilíbrio / próxima do ponto de equilíbrio	
149	Marcos	As duas formas de energia são maiores próximos do ponto de equilíbrio	
150	Diana	A potencial aqui é maior	Apontando para a crista
151	Eduardo	É zero	
152	Marcos	Aqui não tem potencial	Referindo-se a crista
153	Diana	Não / a energia potencial gravitacional é zero	
154	Eduardo	A potencial elástica é mínima neste ponto	Indicando a crista da onda
155	Marcos	Questão 4	
156	Eduardo	Olha só / se fosse uma corrente / você consegue fazer isso com uma corrente / a corrente não vai esticar	
157	Diana	Mas a corrente entre os elos o que vai acontecer?	
158	Heitor	A tensão entre os elos vai aumentar / você pode até arrebentar ela	
159	Eduardo	Tá / mas o que eu estou falando / assim / você vai ver exatamente isso	

160	Heitor	<i>Exatamente onde os elos vão estar mais esticados</i>	
161	Marcos	<i>E no outro eles vão estar frouxos / tipo assim</i>	

Este novo trecho do episódio tem início com os alunos novamente tentando entender a figura da questão. A dificuldade reside em compreender que as duas linhas – tracejada e contínua – representam a mesma corda, entretanto em instante de tempo diferente, sendo que o mesmo segmento de corda estaria em uma posição num dado instante e em outra posição em um instante seguinte. O entendimento do desenho contribuiu para que os estudantes pudessem perceber que um mesmo segmento de corda teria comprimentos distintos nas duas representações da onda apresentadas na figura da questão, dando sentido ao discurso de compressão e estiramento da corda, introduzido pelo professor.

No turno 132, Eduardo apresenta um novo modelo explicativo para o problema, que introduz elementos à discussão, ao associar o maior comprimento da corda a uma aberração ótica provocada pelo tempo de exposição da câmera que teria obtido a imagem representada na figura. No turno 136 ele reforça a ideia de que a corda não se deforma, interpretando os segmentos marcados em negrito na corda como resultado do deslocamento da onda em um dado intervalo de tempo. No entanto, ao não ter sua ideia acolhida pelo grupo, Eduardo decide abandoná-la (turno 144).

Diana, no turno 145, apresenta uma estrutura explicativa que corrobora com a explicação apresentada pelo professor, e apresenta sua explicação de forma inovadora, imaginando a corda como um conjunto de pontos que se agrupariam ou se distanciariam a medida que a corda vibrasse. A ação desenvolvida pelos estudantes tem como objetivo ajustar o modelo apresentado pelo professor, de forma a fazer sentido por estar apoiado em esquemas e estruturas explicativas que eles reconheçam como válidas. A construção de sentidos não é passiva, ao contrário, envolve um conjunto de ações e argumentos que tornam o modelo científico apresentado pelo professor válido e plausível para o grupo. Disso resulta uma ampliação conceitual, posto que o conhecimento dos estudantes sobre propagação de ondas em uma corda é modificado, incorporando novas ideias e modificando outras até então consolidadas.

Em uma tentativa de reflexão sobre o modelo explicativo, Eduardo propõe uma nova situação na qual ele pega um material extremamente rígido, como o caso de uma corrente, para afirmar que é possível fazer uma onda se propagar nesse sistema sem que a corrente se distenda (turno 156). Os demais estudantes apresentam contra-argumentos que refutam a conclusão do colega, uma vez que existiriam aproximações e afastamentos entre os elos da corrente, além de aumento de tensões entre os elos.

Logo após o turno 161 os estudantes iniciam a solução da questão 4, e a Yara, responsável por redigir o relatório naquela aula, permanece elaborando a resposta da questão 3. A quarta e última parte deste episódio acontece 4 minutos e 38 segundos após o turno 161, quando Yara pede a atenção de seus colegas para ler sua resposta a questão 3.

Tabela 30 - Episódio 3: Quarta parte			
Turno	Locutor	Transcrição	Comentários
162	Yara	<i>A corda perto da posição de equilíbrio tem maior energia elástica do que quando ela está nos extremos / porque na posição de equilíbrio a corda está mais esticada do que quando ela está nos extremos</i>	
163	Marcos	<i>A tá / ai você falou da energia elástica</i>	
164	Yara	<i>Eu falei da energia elástica assim</i>	
165	Eduardo	<i>E a cinética (?)</i>	
166	Marcos	<i>Tem que falar da cinética também / porque aqui perto da posição de equilíbrio a velocidade é mínima e aqui ela é máxima</i>	<i>Desenhando sobre a figura</i>
167	Diana	<i>Eu na verdade não sei se dá para falar da elástica não porque a elástica lá em cima ela tipo / ela não só está comprimida(?) / ai ela podia também ter energia</i>	
168	Marcos	<i>Não ela não está comprimida / esse que é o negócio que ele falou / aqui olha / ela está muito pouco comprimida na verdade / o tamanho disso daqui é quase o tamanho desse segmento ali / então ela não está muito deformada / aqui ela está muito deformada</i>	<i>Levanta a folha e sinaliza para a colega pontos específicos da figura</i>

169	Diana	Ah tá	
170	Marcos	Ela era para ser desse tamanho e aqui ela está assim	Usa o polegar e o indicador para indicar o tamanho do trecho da corda na passagem do pulso de onda.
171	Diana	Entendi	
Os alunos trabalham na solução da questão 4 enquanto Yara continuar redigindo o texto da questão 3. Depois de aproximadamente 2 minutos ela lê em voz alta a complementação apresentada a seguir de sua resposta, e todos assinalam positivamente com a cabeça.			
172	Yara	Eu só acrescentei que a energia cinética em um extremo é mínima / nos extremos / e máxima no centro	

Yara começa seu texto falando sobre uma posição de equilíbrio, que aparentemente se refere ao nodo da corda, uma vez que ela associa a energia elástica máxima a este ponto; além disso, ela utiliza o termos “extremos” para se referir aos antinodos. Não sabemos ao certo o que a estudante está considerando como equilíbrio, se ela estaria por exemplo relacionando a situação proposta a uma onda estacionária no qual a posição do nodo é fixo ou pensando em um oscilador harmônico se distanciando do ponto de equilíbrio. No entanto, os demais membros do grupo não fazem qualquer objeção aos termos utilizados na resposta.

Na sequência de sua resposta, ela utiliza o modelo de distensão da corda tal como discutido e aceito pelo grupo. Seus colegas sugerem que ela adicione considerações sobre a energia cinética. Marcos também utiliza a posição de equilíbrio em sua estrutura explicativa (turno 166) e faz desenho no papel para indicar a posição em que a energia cinética seria máxima e mínima. Infelizmente não registramos o desenho feito pelo estudante, e não conseguimos compreender quais pontos ele estaria considerando em sua explicação. Na resposta final (Figura 25) a estudante mantém o termo posição de equilíbrio para se referir ao nodo da corda, e associa a maior energia cinética a este ponto, afirmando ser mínima nos extremos.

No turno 167, Diana questiona o fato de estarem desconsiderando a energia nos antinodos, uma vez que a corda estaria comprimida naquela região. Marcos novamente utiliza a figura da questão para sinalizar que o comprimento da corda nos extremos é bem próximo do comprimento da corda sem oscilar, sendo assim, ela

estaria muito pouco deformada, podendo ser desconsiderada. Sua explicação demonstra que o estudante completou o miniciclo de aprendizagem expansiva, conseguindo estabilizar o conhecimento para aquela situação, evoluindo claramente durante o processo de discussão entre seus pares, com o auxílio presencial do professor e dos recursos mediadores por ele disponibilizados. A primeira parte da resposta elaborada pela relatora Yara à questão também demonstra que diversos elementos da discussão foram incorporados por ela, passando a fazer parte de seu discurso, tal como a identificação da existência ou não da energia elástica e o abandono da ideia de energia potencial gravitacional (ou elástica) nos antinodos da corda.

0,7 3. A corda perto da posição de equilíbrio tem mais energia elástica do que quando ela está nos extremos, porque na posição de equilíbrio a corda está mais esticada do que quando ela está nos extremos. Quanto a energia cinética, nos extremos a energia cinética da corda é mínima e na posição de equilíbrio ela é máxima.  
Confuso!

A corda perto da posição de equilíbrio tem maior energia elástica do que quando ela está nos extremos, porque na posição de equilíbrio a corda está mais esticada do que quando ela está nos extremos. Quanto a energia cinética, nos extremos a energia cinética da corda é mínima e na posição de equilíbrio ela é máxima.

Figura 25: Resposta à terceira questão da aula 2. Questionário relativo ao tema de Ondas Sonoras

O professor atribuiu uma nota de 70% do valor total da questão, e indicou que a resposta dos estudantes estaria confusa. Apesar dele não indicar quais trechos ele considerou problemáticos, inferimos que o uso do termo posição de equilíbrio como indicativo do nodo da onda pode não ter sido bem aceito pelo professor. Além disso, poder-se-ia alegar que a resposta está incompleta: no texto eles descrevem, primeiramente, pontos em que a energia elástica é maior ou menor, apresentando o tensionamento da corda como razão para tal; entretanto, eles não apresentam razões

para justificar o fato da energia cinética ser maior em determinados ponto que em outro.

#### **4.6. EPISÓDIO 4 – Construindo hipóteses e argumentos: o problema da lâmina oscilante**

O quarto episódio que apresentaremos nesta tese tem a intenção de investigar uma situação na qual os estudantes constroem e examinam três hipóteses para explicar o fenômeno abordado na questão, sem conseguirem chegar a um consenso. Há um embate intenso no qual Marcos, Eduardo e Heitor apresentam seus pontos de vista utilizando referentes distintos (movimento oscilatório, efeito da gravidade, momento angular, associação de molas, centro de massa). Dado o impasse, observamos uma estagnação no miniciclo de aprendizagem potencialmente expansivo, que só volta a avançar a partir da intervenção do professor.

O episódio apresentado a seguir foi extraído da quinta aula durante a resolução da primeira questão. Na Figura 26 apresentamos o texto do questionário tal como ele foi apresentado para os estudantes. Nos três primeiros questionários deste semestre, os estudantes discutiram sobre os seguintes temas: vibrações e ondas, ondas sonoras e sons músicas. O questionário dessa quinta aula foi dedicado a discussão dos três temas supracitados, referentes aos capítulos 19, 20 e 21 do livro texto.

Na aula que será apresentada, Diana ficou como responsável pela redação do texto do relatório a ser entregue. Como o episódio se refere à primeira questão da tarefa, Diana pode participar da discussão da questão, sendo que nas demais questões, ela se dedicou à escrita do relatório enquanto seus colegas discutiam possíveis soluções para as demais questões. O episódio se inicia após o aluno Heitor realizar a leitura do enunciado da questão.

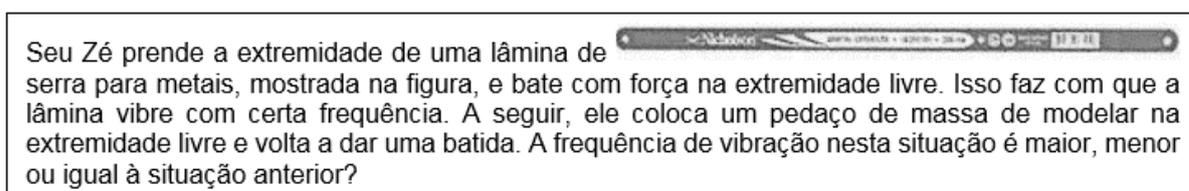


Figura 26 – Primeira questão da aula 5. Questionário relativo ao tema de Oscilações

Tabela 31 - Episódio 4: Primeira parte

Turno	Locutor	Transcrição	Observações
1	Diana	Menor né(?)	
2	Yara	É gente	
3	Eduardo	Vai ser raiz de K	
4	Yara	se ele é o mesmo	
5	Eduardo	Vai ser raiz de K sobre M	
6	Diana	Porque vai ter um pesinho ali	
7	Eduardo	A frequência é raiz de K sobre M	
8	Yara	Hum(?)	
9	Diana	Raiz de K / É se o M for massa é / vai ver tem que aumen ((não completou a frase)) tem que diminuir esse trem	
10	Eduardo	Não / então / se você aumenta	
11	Diana	É / a frequência tem que diminuir / tem um pesinho o negócio balangodango estava lá ai agora está mais pesadinho / o mesmo peteleco não vai fazer oscilação	Balança um lápis
12	Yara	É eu acho também / espero que não tenha nenhuma pegadinha	Fala simultaneamente com a Diana
13	Marcos	Não / é por que assim / o centro de massa fica mais deslocado né / com relação ao eixo	
14	Heitor	Mas como tem só um preso <sup>(a)</sup> / ai tem a gravidade também / que pode ajudar // aumentar a amplitude	<sup>(a)</sup> Indicando com a mão a massa presa na extremidade da barra
15	Yara	preso na extremidade livre	lendo parte do texto da questão
16	Marcos	Então / quando eu pensei na verdade eu estava pensando no pêndulo sabe	Balança o dedo simulando o movimento do pêndulo
17	Diana	Uhum	
18	Yara	Ah tá	
19	Marcos	É / eu não sei	
20	Diana	Mas se você aumenta a massa com o mesmo peteleco o pendulo também diminui a amplitude	

21	Marcos	<i>É menor</i>	<i>fala simultaneamente com a Diana</i>
22	Yara	<i>Então é / tem que ser o mesmo peteleco isso que eu estava pensando</i>	
23	Diana	<i>É</i>	
24	Yara	<i>Se for o mesmo peteleco</i>	
<p><i>Pausa longa de aproximadamente 17 segundos.</i></p> <p><i>Marcos focaliza seu olhar na leitura da questão.</i></p> <p><i>Heitor e Yara leem o livro.</i></p> <p><i>Eduardo, aparentemente, está pesquisando em seu celular.</i></p> <p><i>Diana bebe água em sua garrafa.</i></p>			

O episódio se inicia com uma resposta intuitiva da Diana, dizendo que a frequência de oscilação seria menor. Apesar da questão estar solicitando uma resposta de palavra única, ou seja, que o estudante indique se a frequência de vibração será maior, menor ou igual a igual, é de conhecimento dos estudantes que as respostas às questões devem ser acompanhadas de justificativas. Logo, apenas a intuição da estudante não seria suficiente para responder ao enunciado, sendo necessário a explicitação da fundamentação teórica para tal resposta.

Em quase todas as 140 questões debatidas pelos estudantes ao longo da sequência acompanhada, eram iniciadas por tentativas de respostas. Em diversos casos estas respostas eram consideradas pelo grupo como sendo pertinentes, e, portanto, não necessitariam serem debatidas. Em outros casos, tal como exemplificado no Episódio 1, a resposta não era trivial para o grupo, sendo necessário o debate.

No turno 2 podemos observar que Yara também concorda com sua colega mas acrescenta uma restrição, desde que o impulso inicial (o “peteleco”) seja o mesmo (turno 4, 22 e 24). Esta restrição, baseada em conhecimento intuitivo, não é coerente com a física de oscilações, como já visto em situações similares tratadas pelo grupo em aulas anteriores, como instrumentos de corda e diapasão. A frequência do oscilador não depende da amplitude da oscilação.

Nos turnos 3, 5 e 7, Eduardo tenta utilizar relações matemáticas aplicadas a sistemas massa-mola para pensar na questão. Não fica claro se os estudantes estão apenas aplicando mecanicamente uma fórmula ou se pensam conceitualmente no

problema das relações entre frequência de vibração, elasticidade e inércia do oscilador. Entretanto, apesar do resultado na modificação qualitativa da frequência ser o mesmo nos dois casos – sistema massa-mola e o da questão analisada, as explicações que envolvem as relações entre a frequência e a massa são diferentes, posto que no caso da barra é o momento de inércia da barra mais seu peso na extremidade que deve ser considerado.

No turno 11 Diana apresenta os fundamentos pelos quais ela está se baseando para responder à questão. Os momentos de interação entre os estudantes durante a realização de tarefas escolares são marcados pela linguagem informal. Eles trazem, muitas vezes, modos de falar e pensar o problema distintos daqueles expressos em linguagem científica escolar. A explicação dada por Diana no turno 11 é aprovada por Yara (turno 12). Entretanto, ela considerou tão óbvio o resultado que se preocupou em não estarem sendo enganados por algum possível distrator (“pegadinha”) no enunciado.

No turno 13, Marcos adiciona um novo ponto às discussões, a mudança do centro de massa do oscilador teria uma influência na frequência de oscilação do sistema. Tal variável, não aparece na equação do oscilador massa-mola, com a qual vinham trabalhando. A solução para a questão passa pela análise da inércia rotacional. Nesse sentido, a mudança do centro de massa e sua nova distância do ponto de apoio é relevante ao problema.

No turno 14, Heitor introduz a força da gravidade como mais um ponto a ser debatido. Analisando gestos do Heitor durante seus turnos de fala, podemos observar que ele está pensando no sistema oscilando com a lâmina de serra na horizontal, sendo assim, para ele, o aumento de massa pode ocasionar no aumento da força gravitacional, conseqüentemente, o aumento da amplitude. Ao que parece, o raciocínio é de que um maior peso na extremidade da lâmina aumentaria o impulso e, assim, a amplitude da oscilação. Parece haver aqui dois equívocos: a força restauradora é a força elástica da lâmina e não a força gravitacional; além disso, não há uma relação entre amplitude e frequência de oscilação da lâmina.

No turno 16, Marcos tenta resolver o problema da oscilação de uma lâmina fazendo analogia com a oscilação de um pêndulo, presumindo ser este mais familiar e já conhecido por eles. No turno 20, Diana tenta trabalhar com esta analogia,

afirmando que o aumento de massa, para o mesmo impulso, no caso do pêndulo, provocaria a diminuição da amplitude. Entretanto tal relação não soluciona o problema, uma vez que o mesmo questiona sobre a frequência e não sobre a amplitude. Falta de atenção, talvez, ou a busca de uma relação (inexistente) entre frequência e amplitude de oscilação da lâmina.

Essa primeira parte do episódio apresentado é marcada pela introdução de diversas hipóteses e expectativas, seguida de uma grande inquietação por parte dos alunos, que buscam por mais informações no livro (Heitor e Yara), no texto da questão (Marcos) ou na internet (Eduardo). Esse modo de operação inicial – levantamento de hipóteses e expectativas – ocorreu em diversas ocasiões ao longo do curso, ocasionando longos debates nos grupos e ricas oportunidades de aprendizagem.

No caso do episódio apresentado, a questão, além de despertar o interesse dos estudantes, era conflituosa com os conceitos já internalizados por eles, e suas explicações não eram convergentes, fazendo com que cada um sentisse a necessidade de defender seu ponto de vista. Aparentemente, o conhecimento dos estudantes sobre sistemas oscilantes é superficial e restrito a aplicação de equações em sistemas clássicos do curso de física – sistema massa mola, pêndulo simples, etc. No caso deste episódio, os alunos tentam constantemente utilizar esses referentes para dar sentido a suas explicações, o que gerou um momento de tensão no grupo, fazendo com que novos diálogos emergissem com a inserção de diferentes recursos mediadores, tal como será exemplificado nas demais partes do episódio.

Tabela 32 - Episódio 4: Segunda parte			
Turno	Locutor	Transcrição	Observações
25	Diana	<i>Pode escrever(?) / o que vocês querem que / concluiu(?) / Porque está todo mundo num silêncio com testa franzida assim</i>	<i>Muitas falas simultâneas</i>
26	Yara	<i>Vou ver se tem alguma coisa aqui</i>	<i>Referenciando o livro</i>
27	Diana	<i>Vou utilizar um argumento de autoridade né / vou pegar o Hewitt aqui / para apontar</i>	
28	Marcos	<i>Vamos fazer o seguinte / coloca a borracha aqui / depois fura a borracha / coisa lá da física experimental</i>	<i>Com uma expressão de brincadeira,</i>
29	Diana	<i>Mas isso é com certeza</i>	<i>Marcos segura o lápis</i>

30	Marcos	Mas então vai ficar menor né(?)	na forma de um pêndulo
31	Diana	Então vai ficar / ah você está falando porque a amplitude vai ficar menor e a frequência vai ficar maior(?) / É isso que você está tentando falar(?)	
32	Marcos	O que(?) / Não	
33	Yara	Não	
34	Marcos	Eu não falei isso	
35	Diana	Não / eu acho que a frequência vai diminuir porque vai ficar muito pesado // considerando tudo o mesmo peteleco né / Que a batida é igual nas duas vezes	
36	Marcos	Porque tipo assim	
37	Heitor	A tensão é maior né(?)	
38	Marcos	Oi	
39	Heitor	A tensão é maior quando você está segurando assim	
40	Marcos	A tensão	
41	Heitor	Deixa ele vibrar menos / não(?)	
42	Yara	Ah/ entendi / você está segurando com mais força / ((9s)) / É faz sentido	
43	Marcos	Porque tipo assim / eu estou pensando em coisas totalmente diferentes	
44	Diana	O que(?) / fala	
45	Marcos	Não / eu tô pensando justamente isso / tipo assim / que eu estava falando / esse negócio vibrando assim / tipo / só em relação ao centro de massa estar deslocado / eu estava me lembrando das aulas de fundamentos de oscilações como é que era essa relação do centro de massa que está se deslocando	
46	Diana	Você está falando do braço(?)	
47	Marcos	Eu não me lembro se o período aumentaria / É tipo assim / por exemplo / aqui o centro de massa está bem no meio / tipo assim	
48	Diana	Uhum	
49	Marcos	Aqui ele vai estar mais para cá	Apontando para a figura da questão
50	Diana	Uhum	
51	Marcos	Eu não lembro qual a relação disso com a // com a frequência de vibração	

52	Diana	Fala onde põe a borracha(?)	Se referindo ao texto da questão
53	Yara	É na ponta / na outra ponta	
54	Diana	Na extremidade	
55	Marcos	Para a gente ser coerente na verdade / na última aula / nas últimas questões lá do braço curto quando era menor o braço para a gente / mais rápido ele vibrava	se referindo às últimas questões discutidas na aula anterior
56	Yara	Mais frequência	
57	Diana	Uhum	
58	Marcos	Então vai ser mais lentamente pelo mesmo princípio	
59	Yara	Pelo mesmo motivo	
60	Eduardo	Como que é(?)	
61	Marcos	Porque na última aula a gente colocou que no diapasão em que o braço era longo ele vibrava mais lentamente / que a frequência era menor / o braço a gente falou que era diferente por causa da massa / tipo assim // ou a gente pode esperar receber	
62	Eduardo	A frequência é raiz de $K$ sobre $M$ / se $M$ é maior a frequência vai ter que ser	
63	Yara	Menor	
64	Marcos	A frequência é raiz de $K$ sobre $M$ / no sistema massa mola	
65	Eduardo	Então / se tiver o $M$ maior a frequência menor	
66	Yara	É uai	
67	Diana	É	
68	Marcos	Não / sim / para o sistema massa mola sim / mas para o pêndulo independente / sabe / por exemplo	
69	Yara	Não / é para o pêndulo não depende	
70	Marcos	Mas aí quando você começa a envolver ponta	
71	Yara	Mas aí é o que(?)	
72	Marcos	A inércia	
73	Eduardo	Não / por causa que / tem a questão do // como é que chama / do metal / a força restauradora do metal / o $K$ / a constante elástica / por isso que vibra / porque tem a elasticidade da lâmina	
74	Marcos	Não sei	
74	Heitor	Com a tensão / quando aumenta a tensão aumenta os modos de vibração	

75	Marcos	A tensão / o que você está chamando de tensão(?)	
76	Heitor	Quando você coloca / vamos supor que está assim / você coloca ele vai ficar mais fixo / a massa aqui	Segura um lápis pelas duas mãos
77	Marcos	Vai ficar o que(?)	
78	Heitor	Você coloca a massa aqui	
79	Heitor	Os modos vão ser mais frequentes	
80	Eduardo	vai ser o que(?)	
81	Heitor	Mais frequentes	
82	Eduardo	Não entendi o que você quis dizer	
83	Heitor	Vai aumentar a frequência	
84	Diana	Mas você está falando com se / quando você fecha(?) / Porque aí da outro nodo	
85	Heitor	Não sei / eu não estou conseguindo explicar isso	
86	Diana	Porque aqui é como se ele estivesse aberto não é(?)	
87	Marcos	Uhum	
88	Diana	Tipo como se fosse uma caixa aberta / e aí na hora que põe / aí você está falando que quando você coloca a massa de modelar / você faz um modo / você fecha	
89	Heitor	Não / você aumenta a tensão	
90	Yara	Não / você aumenta	
91	Heitor	A tensão	
92	Yara	Você aumenta a força que você tem que segurar lá	
93	Diana	Uhum	
94	Yara	Na outra ponta da barra	
95	Heitor	Aí você faz uma força antes / a negoça <sup>(a)</sup> / você faz uma força tensionado / aí faz uma coisa tipo assim	<sup>(a)</sup> Pelos gestos utilizados pelo aluno negoça quer dizer distensão da barra
96	Yara	ai eu não sei	
97	Diana	Entendi / nossa agora deu	
98	Eduardo	Questão 2 ((pulam a questão))	
99	Diana	Menor né(?)	

Essa segunda parte do episódio se inicia com a Diana, responsável pela escrita do relatório, questionando se o grupo chegou a alguma decisão. Por mais um breve período, os estudantes continuam analisando as fontes de dados na busca por algo

que os ajude a resolver o problema. O livro texto adotado na disciplina se destaca como principal fonte de consulta dos estudantes durante as aulas e, no turno 27, Diana expressa verbalmente sua confiança em tal fonte de dados.

No turno 28, Marcos propõe um experimento para verificar sua hipótese, ele segura o lápis por uma de suas extremidades, na vertical, como se fosse um pêndulo, e, em tom de brincadeira, sugere colocar uma borracha inteira e em seguida remover massa dessa borracha. Tal procedimento é coerente com as disciplinas experimentais do curso de Física, como o clássico experimento dos fatores físicos que determinam a frequência de oscilação de um pêndulo simples. Caracterizamos este eco como sendo um modo de operação dos estudantes, que tentam utilizar conhecimentos advindos de disciplinas de física teórica ou experimental para fundamentar suas discussões e orientar respostas aos problemas propostos.

Diana, no turno 31, tenta interpretar o sentido da proposição do colega, relacionando o aumento de massa a uma possível diminuição da amplitude, o que é realmente coerente, uma vez que, para a o mesmo impulso, um pêndulo com uma massa maior, atingiria menor altura. Entretanto este tipo de análise não resolve o problema, uma vez que a amplitude menor, no caso da oscilação do pêndulo para pequenas amplitudes, não altera sua frequência de oscilação. No turno 35, afirma intuitivamente que o aumento da massa provocará uma diminuição da frequência. Considerando o turno 35 como uma sequência lógica do turno 31, não fica claro a relação que a aluna faz entre amplitude e frequência, por um lado a amplitude diminui para um mesmo impulso inicial; no entanto, qual seria a relação disso com a frequência? A aluna confunde frequência com amplitude? Ou pensa que uma maior amplitude diminui a frequência? Vai mais lento pois vai mais longe? Apesar das respostas para estas questões ainda serem obscuras para serem respondidas apenas pela análise dos dados, percebemos que o conhecimento científico que a estudante tem sobre sistemas oscilantes é muito superficial, prevalecendo a linguagem cotidiana e o conhecimento intuitivo.

Entre os turnos 37 e 41, Heitor tenta responder à questão utilizando o conceito de tensão, sugerindo que o aumento de massa deixaria a lâmina mais tensionada. Yara tenta entender a proposição feita pelo Heitor. Entretanto as explicações do estudante são muito vagas e lacunares, e como podemos observar no turno 85, o

próprio aluno percebe que não está conseguindo se expressar com clareza. Novamente, prevalece a linguagem cotidiana; por exemplo, não é incorporado nas discussões o fato da tensão da mola variar ao longo de uma oscilação. Do mesmo modo, os estudantes não mencionam a força restauradora que é proporcional ao deslocamento da mola. Antes a razão para uma menor frequência era o aumento da inércia do sistema oscilante; aqui seria a força / tensão, a responsável pela variação na frequência de oscilação. Interessante que supõem que uma maior força irá “segurar” a mola, e daí ela oscilaria com menor frequência. Numa modelagem correta de um sistema físico, o aumento de força restauradora faria aumentar a frequência de oscilação.

No turno 45, Marcos demonstra estar tentando utilizar suas experiências em disciplinas anteriores para responder à questão, neste caso, na disciplina de fundamentos de oscilações. Novamente o eco de outras disciplinas se mostra impactante no contexto desta sala de aula. Vale ressaltar, o uso de experiências em disciplinas anteriores como recurso mediador é bem diferente do uso de outros tipos de experiências que fazem parte do desenvolvimento histórico do sujeito. A experiência em disciplinas anteriores, apesar de ser única para cada sujeito, encontra muitos pontos em comum com os demais estudantes que também tiveram contato com essas disciplinas. Tal recurso mediador – o uso de ecos de outra disciplina - é uma forma pela qual os sujeitos tentam estabelecer, coletivamente, processos de negociação de sentidos, trabalho em equipe e obter adesão do outro ao seu ponto de vista. É possível observar que os estudantes buscam conhecimentos escolares e acadêmicos, evitando assim cometer erros. No entanto, como no episódio em análise, vemos que as intuições dos sujeitos e a linguagem cotidiana estão igualmente presentes.

É típico dos alunos que cursam disciplinas de física, nos diferentes níveis de ensino, se apegarem a procedimentos algorítmicos e regras memorizadas. O problema é que esse conhecimento é facilmente perdido com o tempo. Se o sistema modelado juntamente com suas condições de contorno não for compreendido, os alunos terão dificuldade em resolver problemas similares, tal como vemos no episódio, que demonstra a dificuldade dos alunos em modelar o sistema massa-mola nessa nova configuração.

Essa busca de experiências que sejam comuns aos sujeitos pode ser observada também entre os turnos 55 e 61. Nestes turnos, os estudantes tentam relacionar o problema a questões respondidas por eles na aula passada, mais especificamente a penúltima questão, que tinha o seguinte enunciado: “Um diapasão em forma de forquilha tem os braços compridos e outro tem os braços curtos. Como se comparam os sons emitidos por eles?”. As duas questões – a da aula passada e a da presente aula - são realmente similares, e envolvem a discussão da inércia rotacional do objeto. Percebemos que as alunas Diana e Yara concordam com a relação apresentada por Marcos, entretanto, não pareceu convincente para Eduardo e Heitor, que continuam insistindo em suas hipóteses.

Nesse processo de negociação de sentidos e convencimento dos pares, Eduardo, no turno 62, retoma sua linha de pensamento, aplicando a expressão consagrada para sistemas massa mola – raiz de  $K$  sobre  $M$  – ao problema em questão (turnos 62, 65 e 73), entretanto, novamente ele volta a usar as equações sem identificar limites ou condições de validade. Marcos apresenta contra-argumentos (turnos 62 e 71) sugerindo que a equação seria válida para sistema massa mola, mas não para um pêndulo físico, como no caso da lâmina. No turno 73, Eduardo apresenta uma nova justificativa à sua hipótese, alegando que a vibração da barra seria causada pela elasticidade do metal, ativando a linguagem científica e iniciando o processo de modelagem do sistema. Esse raciocínio é correto, mas não sustenta a conclusão, posto que as condições de contorno que envolvem o sistema massa mola são diferentes das condições de contorno do sistema que envolve a oscilação da haste metálica.

Entre os turnos 74 e 97, Eduardo tenta novamente solucionar o problema pensando no aumento da tensão na extremidade fixa da barra quando você aumenta o peso. A análise do texto e de elementos que extrapolam a transcrição, tais como gestos, expressões faciais, tom de voz, dentre outros, nos permite concluir que sua explicação é bem lacunar e confusa, seus colegas fazem esforço para entendê-lo, entretanto, com pouco ou nenhum sucesso.

A segunda parte do episódio se encerra com os estudantes pulando para a questão seguinte, e retornando para a questão 1 ao final da aula. Tal medida é desencadeada pelas regras da atividade, que delimita o tempo de 100 minutos para

resolução das questões, o que impede que a discussão de uma questão se estenda demasiadamente. Apesar do consenso na solução para o problema ainda não ter sido alcançado, houve significativos avanços nas discussões. Esse episódio é marcado pelo uso de argumentos para justificar suas hipóteses, argumentos que continuam a serem desenvolvidos na terceira e última parte do episódio.

Tabela 33 - Episódio 4: Terceira parte			
Turno	Locutor	Transcrição	Observações
100	Diana	E a 1 e a 6, vamos lá	
101	Yara	A 1 eu acho que é	
102	Diana	Nossa minha primeira intuição foi tascar o que foi / né	
103	Yara	É eu também acho	
104	Eduardo	Mas não é assim gente	
105	Yara	É como(?)	Oscila uma régua com e sem borracha
106	Eduardo	Eu não sei	
107	Marcos	É menos frequência	
108	Yara	Ta vendo / é maior	
109	Marcos	Escreve assim olha / a partir de observações / ai isso é para ensino médio / da para levar isso / tô zuando	
110	Diana	Fazendo um teste	Simula estar escrevendo no relatório
111	Marcos:	Vai colocar fazendo um teste mesmo(?)	Tom de brincadeira
112	Diana	Se o aluno repetir o procedimento com uma régua e uma borracha	Simula estar escrevendo no caderno
113	Marcos	Então / eu falaria do centro de massa / ou aumento da inércia ou centro de massa	Todos falam simultaneamente
114	Eduardo	Você consideraria a frequência natural se fosse vamos supor / homogênea / ai você aumentando a massa você aumentaria a frequência / aqui a distribuição não é homogênea / entendeu / a massa está na extremidade / então você faz / isso eu vi em Mecânica 2 que você pega / você separa aqui em duas constantes de oscilação	

115	Marcos	Falar de Mecânica 2 não vai dar nem para ler, nem a um <sup>(a)</sup>	Fala simultaneamente com o Eduardo. <sup>(a)</sup> Se referindo a disciplina Mecânica 1
116	Eduardo	Você compara isso aqui com isso aqui / isso aqui é duas molas em série / entendeu / ai esse aqui vai ser muito pesado e // enfim	
117	Marcos	Eu falaria que o centro de massa está mais deslocado / porque é a única coisa que eu sei	
118	Eduardo	Não mais isso não é a explicação / o que que isso justifica	
119	Marcos	Uai / muita coisa na verdade / isso muda a inércia rotacional / entendeu	
120	Eduardo	Inércia rotacional(?)	
121	Marcos	É eu não sei como é que eles chamam	
122	Eduardo	Não está havendo rotação	
123	Marcos	Eu sei que não / mas isso influencia / tipo assim	
124	Eduardo	Momento angular	Fala simultânea
125	Eduardo	O que você está falando é bater assim	Usa uma régua presa em uma das extremidades
126	Marcos	Não / porque o que eu estou fazendo é fazendo o corpo tender a girar	
127	Heitor	Com o peso aqui vai ter / vai tender a frear o movimento / não é(?) / Então não vai ser um movimento periódico	
128	Marcos	A frear(?)	
129	Heitor	Tipo diminuir a amplitude da onda	
130	Diana	É	
131	Heitor	Por causa da gravidade / a massa	
132	Marcos	Eu não estou nem pensando em onda	
133	Diana	Quer tentar a 6 primeiro(?) / quer tentar a 6 antes da 1(?)	
Diana e Eduardo conversam sobre a questão 6, entretanto Marcos e Heitor se mantêm na questão 1, rapidamente todos voltam sua atenção novamente para a questão 1			
134	Heitor	Será que a gravidade não vai funcionar como	

135	Marcos	<i>Isso que eu não sei / não sei se a orientação deveria influenciar / se você pensar esse negócio só assim olha / na vertical / que ela não favoreça a descida / e nem desfavoreça a descida</i>	
136	Yara	<i>Ai seria tipo a questão do pêndulo</i>	
137	Marcos	<i>Mas não é um pêndulo simples</i>	
138	Yara	<i>Não</i>	
139	Marcos	<i>Não está preso por um fio de massa desprezível</i>	
140	Yara	<i>Entendi</i>	
141	Marcos	<i>Não sei</i>	
142	Diana	<i>Gente aumentou a massa / vai diminuir a amplitude</i>	
143	Marcos	<i>Professor</i>	
144	Diana	<i>Se o aluno pegar uma régua e uma borracha e fizer o teste verificará / freia mesmo / é mais diminuído</i>	<i>Simula estar escrevendo em tom de brincadeira</i>
145	Professor	<i>E ai(?)</i>	
146	Marcos	<i>E ai / tudo bem(?) / então / experimentalmente a gente concluiu que a frequência é menor quando tem a massa aqui na ponta / só que a gente está com alguma dificuldade em convergir para uma resposta comum / as ideias que surgiram até então foi o centro de massa não ocupa a mesma posição que anteriormente / aqui ele estava / ai você coloca a massa / ai o centro de massa do sistema fica deslocado em relação ao eixo que ele vai oscilar / a outra / quais são as outras(?)</i>	
147	Eduardo	<i>Eu falei que você colocaria duas molas em série / ai uma continua próxima da anterior / mas a que você colocou aqui tem uma frequência muito menor / sei lá</i>	
148	Professor	<i>Mola(?)</i>	
149	Eduardo	<i>É você fazendo uma análise né / eu sei fazer com duas molas / comparando duas constantes de mola</i>	
150	Professor	<i>Mas ai o pêndulo</i>	
151	Eduardo	<i>Não isso não é um pêndulo</i>	
152	Professor	<i>Isso é mais parecido com um pêndulo que com uma mola / porque a mola iria vibrar assim não é(?) / não assim não é(?)</i>	

153	Eduardo	Não / ah tá / não porque você faz uma mola / um fecho de mola de um caminhão é desse jeito né(?) / É mola	
154	Professor	É você ta querendo usar essa coisa de mola em série e mola em paralelo	
155	Eduardo	Mas está certo / mas tem o mesmo / sei lá	
156	Marcos	E ai tem mais alguma teoria(?) / Você tinha falado que a massa / pensando na horizontal assim que a massa tem uma influência /	
157	Heitor	A gravidade diminuiria a amplitude com o movimento sabe / seria uma resistência ao movimento por isso diminui a frequência	
158	Professor	Você está falando da questão 1 não é(?)	
159	Diana	É / Vai aumentar a massa vai ficar mais devagar / ((4s)) / vai ficar mais pesado // o ponto de inércia mesmo	
160	Marcos	Tipo assim / aumenta a inércia rotacional do objeto	
161	Professor	Eu gostei dessa resposta dela	
162	Marcos	É / quando a massa fica mais distribuída	
163	Diana	Obrigada professor	Falas simultâneas
164	Marcos	Mais distante do negócio fica / aumenta a inércia rotacional não é(?) / Ele apresenta maior resistência a ficar	
165	Professor	É	

A retomada da questão acontece próximo ao final da aula, restando além da questão 1 a questão 6 a ser respondida. Marcos, Diana e Yara tentam novamente simular o experimento, demonstrando a diminuição da frequência. Diante da dificuldade em prever e modelar o problema, recorrem ao conhecimento empírico. Simulando o sistema proposto com auxílio de uma régua e borracha, Diana observa o comportamento do oscilador, o que a ajuda a selecionar respostas plausíveis ao problema. Há aqui um ponto de tensão na relação entre os recursos mediacionais e as regras da atividade, uma vez que a atividade exige uma explicação teórica, não sendo suficiente uma explicação baseada apenas na observação experimental. Eles se sentem desconfortáveis com esta solução, pois antecipam que não será valorizada ou admitida como válida pelo professor. Vemos aqui como a atividade do grupo é

constrangida e configurada a partir dos sistemas de regras da disciplina e pela hierarquia de conhecimentos teóricos sobre conhecimentos práticos ou empíricos. Apesar do professor em nenhum momento ter explicitado que o uso de resultados experimentais não possa ser utilizado, os estudantes, aparentemente, a consideravam como uma regra implícita.

No turno 114, Eduardo adiciona um novo elemento à discussão, a mudança da frequência natural da barra para o caso de modificações da massa. Ele deixa claro que seu comentário é baseado em sua experiência na disciplina de Mecânica 2. Esta disciplina faz parte do ciclo profissionalizante do curso de bacharelado em Física, sendo assim, estudantes de licenciatura, apesar de poderem fazer como optativa do curso, não têm o costume de cursá-la. Como pode ser visto no turno 115, Marcos demonstra não ter condições de discutir sobre a questão se forem utilizar conceitos das disciplinas Mecânica 1 e/ou 2. Novamente, identificamos ecos de outra disciplina na execução da tarefa. Entretanto, neste caso, os outros alunos, por não terem participado da mesma disciplina, não compartilhavam de experiências semelhantes e, talvez por isso, esse eco não tenha se mostrado produtivo para as discussões.

Na sequência do episódio, turno 117, Marcos desloca a discussão para uma realidade mais próxima dos contextos já estudados por ele, no caso, a alteração da frequência ocasionada pela mudança do centro de massa. Eduardo não considera que tal proposição possa ajudar para resolução da questão, uma vez que, para ele, não estaria havendo rotação. No turno 125 ele utiliza uma régua para demonstrar que não faria sentido pensar em momento angular, uma vez que não estaria ocorrendo rotação. Marcos tenta justificar que estaria sim havendo, no mínimo, uma tendência de rotação. A hipótese de Marcos é bastante produtiva para a solução da questão, entretanto ele não está sendo capaz de propor uma resposta que seja convincente a seus colegas, em especial Eduardo e Heitor. Heitor parece buscar ideias alternativas e às vezes o faz mencionando termos técnicos não aplicáveis à situação: modos de vibração; amplitude de onda e, agora, ação da gravidade sobre a mola em oscilação. Ao que parece Heitor faz uso de termos científicos sem conseguir atribuir significado a eles, “amplitude de onda”, “modos de vibração”, usados sem contexto e sem referentes claros.

Novamente, sem um consenso imediato, percebendo o término da aula e a necessidade de terminar o relatório com o máximo de questões respondidas, Eduardo e Diana tentam mudar o rumo da atividade, saltando para a questão 6. Temos assim, um tensionamento entre o objeto e às regras da atividade. Influenciados por esta tensão os estudantes decidem pedir ajuda ao professor (turno 143), que imediatamente se prontifica a ajudar.

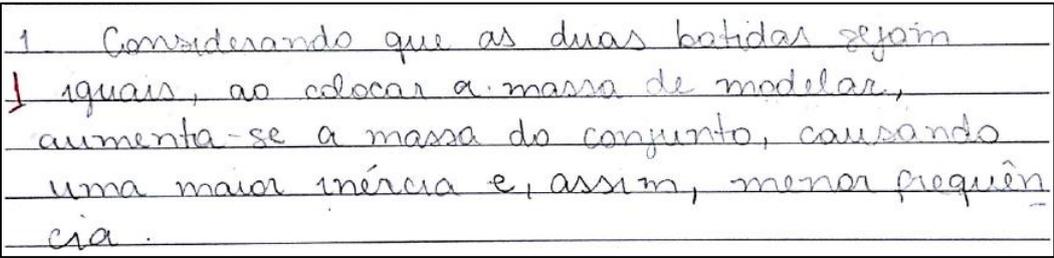
No turno 146, Marcos tenta fazer um resumo para o professor do que o grupo já havia discutido, iniciando com o resultado do arranjo experimental que indica redução da frequência, comentando sobre a dificuldade do grupo em convergir em uma interpretação única para tal e apresentando sua hipótese de que a alteração da frequência seria explicada pela mudança da posição do centro de massa. Ele termina sua fala pedindo para que seus colegas apresentassem suas hipóteses.

Eduardo apresenta seu modelo de comparação com o sistema massa-mola, o professor questiona sobre a diferença de movimentação do sistema massa-mola e do sistema da oscilação da haste metálica. Marcos, no turno 156, pede para que Heitor apresente sua hipótese para solucionar o problema, entretanto, a fala do aluno é bastante confusa. O professor inicia um movimento para tentar compreender a fala do Heitor, e, então, a aluna Diana sugere que o aumento da massa faz o sistema ficar mais lento. Essa colocação ajuda Marcos a sugerir que a explicação para a redução da frequência de oscilação seria o aumento da inércia rotacional do objeto (turnos 159 e 160). O professor reconhece a resposta como correta e o grupo considera a questão como resolvida.

A participação do professor na atividade foi fundamental para sua finalização, uma vez que o grupo não se mostrou capaz de chegar a um consenso sobre suas hipóteses. Podemos observar que a resposta esperada para a questão já havia sido enunciada pelos estudantes, entretanto foi necessária a figura de autoridade do professor para que a mesma fosse consensualmente admitida como suficiente e adequada ao problema. A análise das hipóteses dos estudantes e o fornecimento de pequenas dicas para solução da questão é uma característica do modo de participação do professor na atividade. Das 140 questões analisadas, a participação do professor foi solicitada 24 vezes, sendo que na maioria dos casos ela se deu de

forma voluntária, nos momentos em que o professor passa pelos grupos e pergunta sobre o andamento do trabalho.

Na Figura 27, apresento o texto entregue pelo grupo como resposta a questão 1. A resposta foi considerada satisfatória pelo professor, recebendo nota máxima.



1. Considerando que as duas batidas sejam iguais, ao colocar a massa de modelar, aumenta-se a massa do conjunto, causando uma maior inércia e, assim, menor frequência.

“Considerando que as duas batidas sejam iguais, ao colocar a massa de modelar, aumenta-se a massa do conjunto, causando uma maior inércia e, assim, menor frequência.”

Figura 27 – Resposta à primeira questão da aula 5, com correção do professor.

#### 4.7. Discussão dos Resultados

Retomamos aqui a análise dos quatro episódios apresentados, procurando destacar alguns elementos da atividade de resolução de problemas no contexto da disciplina “Física Conceitual” e como eles configuram oportunidades de aprendizagem pelos estudantes. O faremos destacando: 1. Como se realiza a interação entre pares e como elas potencializam a aprendizagem; 2. Como se dão as intervenções do professor e as tensões criadas por elas; 3. Como os recursos mediacionais orientam o trabalho do grupo; 4. Como se articulam linguagem e modos de pensar científicos e cotidianos.

##### 4.7.1. Potencialidade e limites das interações entre pares

Tal como salienta Webb (2009) os benefícios da participação do trabalho em grupo com outros estudantes dependem da natureza da participação dos estudantes no trabalho. Os benefícios derivam da qualidade e profundidade da discussão, se são receptivos ou não a ajuda dos colegas, se compartilham conhecimento, se consideram

as proposições de cada um para justificar seu ponto vista, e até que ponto eles reconhecem e resolvem as contradições entre a sua perspectiva e a de seus colegas.

O grupo é constituído por estudantes que têm diferentes trajetórias escolares e universitárias, resultando em maior ou menor segurança no enfrentamento dos desafios postos pelas questões de Física Conceitual propostas pelo Professor. Diana e Yara mostram-se mais receosas, embora participem ativamente das discussões; Marcos e Eduardo, ao contrário, têm maior iniciativa em propor soluções aos problemas e, em certos momentos, parecem disputar a liderança intelectual do grupo. Heitor se manifesta com menor frequência nos debates do grupo, não sabemos se por timidez, insegurança ou menor envolvimento com a proposta.

Apesar das diferenças, o grupo se organiza coletivamente para as tarefas propostas. Os alunos procuram comunicar com clareza suas ideias, ouvem atentamente o que dizem os colegas, procuram elaborar novas ideias a partir das colocações dos demais, apresentam concordâncias ou discordâncias justificadas, e se esforçam para fazer convergir para uma resposta pactuada e consensual no grupo. Todos eles dão sinais de terem se preparado para a aula, com a leitura prévia do livro-texto, buscando informações nele durante a atividade.

Identificamos em diversos momentos que os estudantes se engajam na reestruturação cognitiva, verbalizando seus pensamentos durante conversas com os pares. O processo de explicar seu ponto de vista, e tentar entender o ponto de vista do colega, permite reorganizar e esclarecer as ideias, reconhecer seus próprios equívocos, preencher lacunas em seu próprio entendimento, fortalecer conexões entre novas informações e informações previamente aprendidas.

Como no caso do episódio 3, em que os alunos tentam aplicar os conhecimentos prévios sobre oscilações para compreender a situação apresentada (energia envolvida na propagação de um pulso em uma corda). Nesse caso, notamos uma tensão na escolha de modelos de oscilação adequados para lidar com a situação proposta, sendo frustrada a tentativa de aplicação de raciocínios envolvendo energia potencial gravitacional. Neste caso em particular, o professor introduziu a ideia de que para se propagar um pulso em uma corda, esta deve sofrer um estiramento. Isso fez com que os estudantes reestruturassem toda a dinâmica explicativa construída por eles até então.

No processo de formulação de uma explicação, os estudantes podem pensar em características peculiares do problema que servem tanto para tentar convencer o outro de suas ideias quanto ajudar a si próprio e internalizar os princípios, a construir regras de inferência específicas para resolver tal tipo de problema e a repensar e reelaborar modelos mentais incompletos e assim desenvolver uma melhor consciência das operações e conceitos utilizados por eles. Além disso, ao reformularem e adaptarem uma explicação para que ela possa fazer sentido para o colega, os estudantes avançam na construção de conceituações mais elaboradas. De modo semelhante, em caso de feedback negativo por parte de algum colega e mesmo do professor, o grupo é levado a corrigir seus equívocos e fortalecer as conexões entre o contexto do problema, as novas informações e as já internalizadas.

No episódio 1 podemos observar como Marcos, ao produzir explicações conjuntamente com seus colegas, aprimora a noção de aumento da área para justificar a diminuição da amplitude ao longo da propagação da onda na superfície de um lago. Após a intervenção do professor, o grupo passou a utilizar o conceito de área da circunferência como um todo, sendo esta área expandida com o aumento do diâmetro do círculo. Marcos durante o debate repensou no sistema e sugeriu que a área em questão seria a próxima a região da borda do círculo. Apesar dele não entrar em detalhes sobre como seria possível pensar no aumento de área nessa nova situação<sup>20</sup> consideramos um avanço conceitual essa nova forma de pensar.

As discussões entre os estudantes necessitam de um tempo maior de aula, se comparado ao tempo de um professor resolver a questão em sala, para que elas possam se desenvolver. Tal como observamos em diversos momentos em nossos dados, os estudantes eram limitados pelo tempo, e encerravam precocemente a resolução de uma questão. Além disso, destacamos que em determinados momentos os impasses não são possíveis de serem resolvidos somente entre os estudantes, necessitando a intervenção presencial do professor para direcionamento do grupo. Na próxima subseção, discutimos mais sobre o que estamos chamando de tensão entre o controle e a autonomia.

---

<sup>20</sup> Neste caso a área seria a subtração entre a área da parte externa do círculo limítrofe do pulso e a área interna do círculo na qual o último elemento do pulso irá passar. Sendo assim a linha que delimita o perímetro da circunferência não pode ser mais considerada sem espessura.

#### **4.7.2. As intervenções do professor: tensão entre controle e autonomia**

A disciplina de FC faz uso da metodologia de trabalho em grupo para resolução de questões afim de rever e aprofundar de forma conceitual os principais conceitos básicos da física. A opção por metodologia de trabalho em grupos sugere a expectativa de maior autonomia por parte dos estudantes no trabalho. A princípio, os estudantes seriam capazes de coletivamente encontrar soluções para as questões, uma vez que nenhum conhecimento novo estaria sendo introduzido. A expectativa era que eles pudessem mobilizar e articular seus conhecimentos de Física Básica para solução dos desafios trazidos pela disciplina. Entretanto, observamos que nem sempre os estudantes conseguem solucionar as questões, e por vezes a intervenção do professor se faz necessária.

Dos 4 episódios que analisamos, verificamos a participação do professor em 3 deles. Um olhar descuidado sobre estes dados pode sugerir que o professor atua constantemente com os estudantes, entretanto isso não é a realidade. Os 4 episódios apresentados nesta tese foram escolhidos devido a sua peculiaridade por terem gerado intensas discussões entre os alunos, que percorreram um longo caminho até a solução da questão. Dada a dificuldade encontrada pelos estudantes nos episódios selecionados, fez-se necessária a intervenção do professor em 3 deles. Salientamos que em geral, as participações do professor são pontuais e infrequentes, apesar de não contabilizarmos, são raros os momentos em que o professor intervém no grupo.

No episódio 1, a intervenção do professor aconteceu de forma espontânea, ou seja, sem a solicitação dos estudantes. Sua intervenção aconteceu devido ao fato de ele estar próximo ao grupo e atento às discussões que ocorriam nele. Os estudantes estavam associando a diminuição da amplitude da onda à ação de forças dissipativas. Percebendo o erro, o professor interviu deslocando o problema para outra situação, no caso o fato da intensidade sonora diminuir a medida em que o receptor se afasta da fonte. Em suas intervenções, o professor procura escutar os estudantes, e propor situações análogas, direcionando o grupo para a resposta correta, sem que esta seja diretamente fornecida por ele. Nesse sentido, percebemos uma tensão entre como ajudar o grupo sem fornecer a resposta correta. Em sua entrevista, o professor afirma ter dificuldade em esperar que os estudantes desenvolvam uma resposta adequada à questão; ele se julga ansioso e avalia que por vezes acaba antecipando-se a eles.

No episódio 2 não houve participação do professor, os estudantes conseguiram chegar a uma explicação razoável para o problema de forma autônoma, embora, percebemos que, apesar das discussões terem sido muito ricas, com intensa construção e reconstrução de ideias, a noção de decaimento da intensidade das ondas sonoras com o inverso do quadrado da distância não tenha sido alcançada em sua plenitude. Os estudantes chegam na ideia de expansão na superfície de uma esfera, sendo está relacionada ao quadrado do raio, entretanto na hora de operacionalizar os dados, e lidarem com unidades de medida de intensidade sonora em dB, não demonstram a destreza necessária. Neste caso específico, se o professor estivesse presente, provavelmente teria feito intervenções que poderiam limitar as discussões, não permitindo que diversas problematizações discutidas na análise do episódio fossem abordadas por eles. Por outro lado, ao final do episódio, a presença do professor poderia tê-los auxiliado a sistematizar a regra geral para solução de tais tipos de problema, reforçando assim nossa afirmação de que há uma tensão entre a intervenção do professor e a autonomia dada aos estudantes.

No episódio 3, a intervenção do professor se dá por solicitação do grupo. Como característico deste professor, ele prontamente se disponibiliza a atender a essas demandas. A intervenção do professor adicionou um elemento novo às discussões, apontando para o fato da corda sofrer estiramento durante a propagação do pulso. A princípio a afirmação do professor causou estranheza ao grupo; provavelmente eles nunca haviam analisado sistemas oscilatórios sob esse ponto de vista. O professor, no início de sua intervenção, não apresenta a resposta diretamente, ele tenta, por meio de indagações, direcionar a análise do grupo, solicitando deles a interpretação da figura que acompanha o enunciado do problema. Dadas as “novidades” trazidas na explicação sugerida pelo professor, os estudantes começam a questionar algumas de suas ideias, procurando assim dar sentido à estrutura explicativa trazida pelo professor. Consideramos a participação do professor como fundamental para que o grupo pudesse avançar em direção a resposta cientificamente correta. A análise de nossos dados nos permite concluir que dificilmente a energia potencial elástica seria evocada no entendimento do problema senão pela intervenção do professor. Mais uma vez fica evidente a tensão entre a autonomia e o nível de participação do professor na atividade.

No episódio 4 a intervenção do professor se deu por meio de sua voz de autoridade ao escolher uma dentre as 3 possibilidades apresentadas pelo grupo. Apesar da resposta correta já ter sido enunciada por um dos estudantes, o consenso não foi possível sem a intervenção do professor, uma vez que, para o grupo, as duas outras respostas eram igualmente possíveis. Novamente a participação do professor parece fundamental, entretanto, caso a intervenção do professor não tivesse sido demandada pelos estudantes, não é possível antecipar que escolhas o grupo teria feito, nem se novos argumentos surgiriam para resolver o impasse criado pela existência de explicações alternativas possivelmente incompatíveis entre si (como eram de fato).

#### **4.7.3. Provocando a atividade dos estudantes: questões de Física Conceitual**

Conforme havíamos anunciado nos capítulos iniciais desta tese, as questões apresentadas na FC tem características peculiares que as diferenciam das demais vivenciadas pelos estudantes durante a graduação em física. Embora tenham uma resposta única esperada pelo professor, elas que múltiplas possibilidades de interpretação do problema sejam evocadas, como no caso do Episódio 4, no qual o texto da questão informa que a lâmina está presa por uma de suas extremidades, e que uma força é realizada na extremidade livre, entretanto, ele não define como esta oscilação ocorre, deixando margem à interpretação dos estudantes. Nesse caso, a forma pela qual a lâmina oscilaria não alteraria a solução da questão; entretanto, isso mobiliza parte da atividade dos estudantes que procuram refletir sobre os pontos em aberto das questões. Na sequência do enunciado da questão, ele informa que uma massinha é colocada na extremidade livre e outra batida volta a ser dada; no entanto, o enunciado não faz nenhuma consideração comparativa entre as duas batidas, deixando também tal ponto aberto para interpretação dos estudantes. Essa abertura na questão possibilitou que uma grande quantidade de modelos e hipóteses fossem colocadas em discussão.

Outro exemplo de múltiplas possibilidades de interpretação aconteceu no episódio 2, no qual o enunciado do problema solicitava que os estudantes fizessem “suposições razoáveis e estimativas”. Observamos na análise deste episódio que a atividade desenvolvida pelos estudantes tem caráter único, que emergiu das escolhas

feitas por eles. Assim, o fato do problema não direcionar quais tipos de suposições os estudantes deveriam fazer, ou o que eles deveriam estimar, permitiu que os estudantes entrassem em um processo de modelamento com intensa evocação de ideias, críticas, avaliações do pensamento do outro, articulação de diversos recursos mediacionais, dentre outros procedimentos do “fazer” ciência, raramente empregados em aulas convencionais de resolução de problemas em física.

A análise dos dados nos permite inferir que os estudantes deste grupo se interessam pelos desafios que são trazidos pelas questões, eles se empenham para dar sentido ao que é discutido ali, existe um valor que transcende a mera objetivação com relação a nota avaliativa da disciplina. Podemos observar esse engajamento no episódio 3, no qual os alunos continuam questionando e tentando dar sentido ao fato da corda ser tensionada durante a propagação do pulso, mesmo após o professor já ter praticamente enunciado a resposta esperada por ele.

#### **4.7.4. Linguagem científica e cotidiana**

É característico dos processos discursivos da disciplina analisada, a utilização de formas de conhecimento de origens diversas, inclusive não científicas, como recursos mediacionais. No episódio 4, por exemplo, identificamos, inicialmente, a hipótese vinda do senso comum, repleta de sensações e expectativas. Vemos isso na fala da Diana ao longo de diversos turnos de fala, sendo marcante no turno 102 quando ela enuncia “Nossa minha primeira intuição foi tascar<sup>21</sup>”. A hipótese dela, que ao final se configurou como a resposta correta do grupo, era de que se o sistema ficou mais “pesado” ele deveria vibrar mais lentamente. Esta hipótese não é válida para qualquer sistema oscilante, por exemplo para o caso de pequenas oscilações em um pêndulo simples, cujo modelo teórico é estudado no ciclo básico do curso de Física. No caso da haste metálica oscilando, a força restauradora não cresce linearmente com a massa, tal como acontece com o pêndulo simples, sendo assim a hipótese da estudante está correta, apesar de ela não apresentar, inicialmente, uma justificativa coerente baseada nos conhecimentos científicos, tal como exige a disciplina. O uso de modelos comparativos para tentar resolver os problemas também é característico

---

<sup>21</sup> “Tascar” é um termo na linguagem coloquial que se significa colocar, jogar, inserir, etc.. No caso do episódio ela estava se referindo a sua primeira resposta, baseada em seu conhecimento intuitivo, fundamentado em experiências anteriores e no senso comum.

da disciplina, sendo um dos principais recursos mediadores utilizados pelos estudantes em suas discussões. Também no episódio 4, podemos observar que são utilizadas diversas especificidades de modelos canônicos trabalhados tradicionalmente nas disciplinas básicas do curso de Física – pêndulo simples, pêndulo de torção, sistema massa mola, distensão de uma haste.

A inserção de um novo contexto, com forte viés na vida cotidiana e diferente das situações canônicas utilizadas em disciplinas do ciclo básico de Física, exige que os estudantes entrem em um processo reconstrução e relacionamento entre as estruturas já consolidadas. Por meio da avaliação das especificidades de tais modelos, eles tentam escolher o que melhor se ajusta ao sistema apresentado pela questão.

A atividade em grupo possibilita a entrada de diferentes formas de conhecimento no ambiente de sala de aula. Tais formas de conhecimento dificilmente entrariam em um ambiente típico de sala de aula de física, centrada na figura do professor. Consideramos este fato relevante, uma vez que diversos alunos que cursam a disciplina são do curso de Licenciatura em Física, e, possivelmente, se tornarão professores e terão que lidar com a articulação dos diferentes gêneros discursivos em suas salas de aula. Além disso, eles são incentivados a responder às questões propostas com uma linguagem que seja adequada ao ensino básico, nesse ponto, percebemos novos pontos de tensão entre o uso dos recursos mediacionais e as regras da atividade.

A análise de nossos dados nos permite inferir que a solução de determinadas questões passa pela articulação entre diferentes formas de conhecimento, com destaque às tentativas dos estudantes em relacionar os problemas propostos aos modelos teóricos e sistemas analíticos já estudados por eles. Embora a disciplina esteja inserida em um curso de Física, cujos estudantes estão em períodos avançados do curso, a análise das interações do grupo indica que não somente o conhecimento científico é utilizado na resolução de questões de física; a intuição, o senso comum e o discurso não científico assumem papel importante na argumentação. Por outro lado, a articulação entre esses conhecimentos é tensionada com os demais elementos da atividade, como por exemplo, as regras da disciplina, que priorizam o conhecimento científico em detrimento do conhecimento intuitivo ou informal.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente tese teve como motivação inicial o estudo de ambientes de aprendizagem colaborativa, nos quais estudantes fossem postos a trabalhar na resolução de problemas conceituais de física. Nossa hipótese inicial era de que em um ambiente de aprendizagem colaborativa, que permitisse o maior protagonismo dos estudantes, seria um ambiente propício à aprendizagem.

Para tal, decidimos acompanhar as atividades de um grupo no contexto de uma disciplina do curso de licenciatura em Física. Como discutimos ao longo da tese, as questões trazidas em cada aula abrangiam diversos conceitos relativos aos temas estudados na Física, sendo o objetivo dessa disciplina rever e aprofundar a aprendizagem desses conceitos, por meio do enfrentamento de situações desafiadoras apresentadas por meio de problemas trazidos pelo professor. Tal como exemplificamos, as questões abordadas nessa disciplina são diferenciadas das demais abordadas em outras disciplinas do curso de graduação em física. Elas são sempre contextualizadas, com forte viés na vida cotidiana dos estudantes. Em raras situações o professor pede para que eles considerem o problema como um sistema ideal, como usualmente ocorre em problemas convencionais de física.

Diante desse cenário a presente pesquisa teve como objetivo geral compreender **como se estrutura e se desenvolve a atividade em grupo de resolução de problemas em disciplina de Física Conceitual em um curso de graduação em Física.**

Nos pautamos pelos princípios da Teoria Sócio Histórico e Cultural da Atividade, em especial nas contribuições da perspectiva da TA liderada pelos trabalhos de Engeström e seu grupo de pesquisa. A utilização desse referencial possibilitou a utilização da atividade como unidade de análise dos dados, permitindo compreender de forma ampla as ações dos sujeitos com sendo motivadas por um conjunto de eventos que extrapolam a análise do indivíduo, agindo isoladamente. Tal análise incluiu ainda novos elementos, tais como regras, comunidade, divisão do trabalho, recursos mediadores, atividades de produção e compartilhamento de sentidos.

A busca pela compreensão sobre a forma de estruturação e o desenvolvimento das atividades acompanhadas, nos motivou investigar as seguintes questões de pesquisa:

- 1) Como os estudantes lidam com as diferentes tensões e contradições que emergem durante a realização da atividade?
- 2) Quais elementos da metodologia de ensino adotada nas disciplinas FC favorecem a emergência de miniciclos de aprendizagem potencialmente expansivos?
- 3) Quais as perspectivas de aprendizagem em Física que emergem das atividades de resolução de problemas no contexto das disciplinas FC?

Ao longo do texto desta tese, de certa forma, já fomos respondendo, mesmo que parcialmente, algumas dessas questões, entretanto, apresentamos nos próximos parágrafos uma síntese de nossos resultados, assim como as novas indagações e implicações abertas por eles.

Com relação à primeira questão de pesquisa, observamos que tensões e contradições emergiram em diversos momentos nos episódios analisados e evoluíram de forma produtiva. Alguns desses momentos foram provocados pelo conhecimento conceitual de física dos estudantes ser ainda superficial, e por vezes incompleto. Dos dados apresentados neste trabalho, pudemos observar que mesmo o uso dos conceitos que são exaustivamente trabalhados ao longo da escolarização científica, como por exemplo os conceitos de energia e potência (Episódio 1), são problemáticos quando acionados para explicar situações típicas dessa sala de aula. Nesse sentido o trabalho colaborativo desempenha um papel relevante na formação destes sujeitos permitindo que os sujeitos revisitem e reflitam sobre estes conceitos, por meio de processos argumentativos e dialógicos, em que esse conhecimento é posto à prova por meio do uso em situações novas e desafiadoras para os estudantes.

O segundo elemento que consideramos ter criado pontos de tensão e contradição nas atividades analisadas vem da própria natureza das questões dessa sala de aula, que embora tenham uma resposta predefinida do ponto de vista científico, apresentam situações mais ligadas ao mundo vivido, com poucas restrições e idealização do sistema, solicitando, por vezes que os estudantes façam considerações e delimitações que julgarem relevantes ao problema. Isso gera

movimentos na atividade que são característicos das escolhas feitas pelo grupo. Como discutimos no episódio 2, as ações dos sujeitos eram tensionadas pela necessidade de se modelar o sistema físico. A contradição naquele momento vivenciada pelos estudantes (Episódio 2) era a de escolher o caminho correto, dentre as múltiplas possibilidades que eram levantadas por eles, nas quais diferentes artefatos mediadores – teorias científicas, experiências da vida cotidiana, ferramentas matemáticas – foram integrados à discussão, abrindo assim novas oportunidades de aprendizagem.

A menor delimitação das condições que envolvem as questões, criou a possibilidade da emergência de múltiplas interpretações para um dado problema. Essas interpretações eram tensionadas pelos elementos da atividade, em especial pelas regras, que delimitavam as discussões e as diferenciavam das utilizadas durante o ciclo básico da graduação em física, uma vez que a resposta deveria ser produzida com pouco ou nenhum tratamento matemático, sendo esta – a resposta – direcionada a estudantes do ensino médio. As regras também eram fontes de outros tensionamentos, como atenção ao tamanho e formato das respostas, evitando que fossem consideradas, pelo professor, como prolixas ou, ao contrário, incompletas. Além disso, o tempo para entrega do relatório era limitado ao período da aula, não permitindo que as discussões se estendessem por períodos mais prolongados. A solução para essas tensões e contradições passou pelo intenso trabalho colaborativo entre os estudantes, que procuravam ouvir o outro, considerando suas hipóteses como relevantes e ao mesmo tempo se posicionarem diante de seus pares. Por vezes o grupo precisou da intervenção presencial do professor para redirecionamento na atividade.

Com relação à segunda questão de pesquisa, primeiramente destacamos o envolvimento dos participantes – Professor e estudantes – com a atividade; e enfatizamos a postura dos estudantes, que se mostram interessados, participativos, dispostos a debater ou com pouco ou nenhum medo de se expor. Essas são as impressões que nos transparecem ao analisarmos nossos dados, apesar de os turnos de fala sugerirem o maior envolvimento de um ou de outro estudante, a sensação que temos ao assistir os vídeos é de que todos estão na maior parte do tempo participando e contribuindo de algum modo para as discussões. A postura dos estudantes não

sugere em nenhum momento uma participação forçada de realização de uma tarefa em decorrência de uma ordem externa, cujo objetivo seja de apenas conseguir o mínimo para aprovação.

O que reforça nossa crença do motivo desse sistema como sendo a necessidade de se aprender física para além de solução de problemas clássicos, tal como tradicionalmente apresentado nas disciplinas de física básica, cujo extenso e quase exclusivo enfoque no formalismo matemático torna-se um grande empecilho para a aprendizagem dos estudantes. Sem essa postura ativa dos estudantes e o comprometimento do professor, dificilmente teríamos ciclos ou miniciclos de aprendizagem potencialmente expansivos como aqueles apresentados no capítulo 4.

Em seguida, destacamos o relevante papel das boas questões selecionadas pelo professor para cada aula; e nos indagamos: o que seriam essas “boas” questões? São aquelas que, para o grupo, não são consideradas triviais. Se a resposta a uma questão é obtida rapidamente, com pouco ou nenhum debate, ela não foi uma boa questão para este grupo. Da mesma forma, se ela se mostra completamente impossível de ser resolvida pelo grupo e exige que o professor forneça a resposta de forma direta, ela também não foi uma boa questão para o grupo. A boa questão conceitual de física precisa provocar os sujeitos, desafiá-los, gerar tensões e contradições na articulação entre o conhecimento já internalizado pelos sujeitos e a aplicação desse conhecimento a novas situações.

Destacamos ao longo da tese elementos contidos nestas questões, tais como: contextualização, possibilidade de múltiplas interpretações, solicitação de levantamento de hipóteses e considerações relevantes; a nosso ver foram essenciais para o aparecimento dos miniciclos de aprendizagem potencialmente expansivos. Além disso, ressaltamos o fato já apontado na literatura de que um dado miniciclo de aprendizagem, uma vez iniciado, pode não ter sua completa expansão. Como apresentado na análise dos dados, apesar de muito se discutir e ser possível identificar avanços no entendimento dos estudantes e nos recursos por eles evocados indo ao encontro da resposta correta, nem sempre esta resposta é desenvolvida e explorada em sua plenitude pelos integrantes do grupo.

Consideramos que os materiais de apoio didático selecionados pelo professor – livro texto e textos extras – foram coerente com a proposta da disciplina, e que a

leitura desses materiais enriqueceram as discussões, permitindo que novos artefatos mediadores fossem adicionados aos debates, contribuindo para a evolução dos miniciclos de aprendizagem potencialmente expansivos.

Com relação à terceira questão de pesquisa, primeiramente gostaríamos de ressaltar que, dada a formatação da disciplina, incluindo vários temas e conseqüentemente abordando inúmeros conceitos, não cabe aqui dizer quais conceitos foram ou não aprendidos por cada aluno do grupo ou qual o nível de generalização que eles passaram a ter para eles.

Podemos, por outro lado, especular sobre os sentidos do aprender física no contexto das experiências destes estudantes nas disciplinas de Física Conceitual. O que significa aprender física nesse ambiente de aprendizagem? O que é essencial na aprendizagem em física? Quais as perspectivas de aprendizagem em física que emergem das atividades que acompanhamos?

A perspectiva central de aprendizagem em física comunicada e oportunizada no ambiente desta sala de aula consiste em priorizar o entendimento conceitual aplicado em situações cotidianas, em detrimento da ênfase no formalismo matemático da disciplina. A aprendizagem de conceitos científicos envolve o enfrentamento de questões desafiadoras, situações nas quais as ferramentas conceituais da ciência são postas em ação, adequando-se ao contexto do problema e avaliando seus resultados. Por essa razão, um ambiente ativo e colaborativo, em que os estudantes atuam em grupos, favorece a discussão sobre a adequação das ferramentas conceituais empregadas na solução dos problemas.

A apropriação e significação dos conceitos científicos, das linguagens, modelos e modos de pensar da ciência se enriquece à medida em que os estudantes encontram um número maior de situações relevantes em que aquelas ferramentas se mostram adequadas, e criam soluções pertinentes. Quanto maior o número e a variedade dessas situações, mais se consolida as competências e habilidades dos estudantes em trabalharem com essa rede de conceitos que constituem as teorias físicas. Essa é uma marca da disciplina que acompanhamos e de todo o ambiente de aprendizagem que se constitui em torno dessa perspectiva.

A física também se apoia em intuições e construções metafóricas, e elas são muito presentes na construção do conhecimento físico, então estimular a imaginação e a apreciação dessas metáforas é fundamental. Salientamos que isso deve ser feito com extremo cuidado, porque o uso de intuição, analogias ou metáforas podem ser a força criativa nas construções das explicações físicas, como podem também frequentemente conduzir a enganos quando usadas na forma literal.

A partir da análise dos eventos que ocorreram ao longo do desenvolvimento das dinâmicas da FC, destacamos a necessidade de criar mais oportunidades para os estudantes a utilizem essa linguagem conceitual e textual. A disciplina comunica, ainda, que esse entendimento conceitual deva preceder e orientar, de algum modo, o formalismo matemático no qual se expressa o conhecimento físico em sua forma mais acabada.

O trabalho em grupo aprimora as habilidades argumentativas dos sujeitos, incentivando os alunos a se posicionarem criticamente frente ao colocado tanto pelas questões, quanto por seus colegas e professor, e ao mesmo tempo serem receptivos aos comentários dos outros. A própria heterogeneidade natural do grupo permite que eles tenham pontos de vista diferentes sobre o problema, que façam uso diverso dos inúmeros recursos mediacionais. A disciplina permite que eles tenham uma certa autonomia no desenvolvimento do trabalho, fazendo emergir impasses que o grupo precisa superar, e contam com o direcionamento dado pelo professor seja pelos enunciados dos problemas, seja por uma intervenção mais direta no grupo. Vimos que, quando o professor intervém, esse direcionamento é feito tanto por meio da voz de autoridade do professor ao escolher uma dentre as várias explicações dos estudantes ou pela inserção de elementos novos às discussões. A intervenção do professor também não é aceita de forma passiva pelos estudantes, tal como visto nos episódios 2 e 3. Nesses episódios, mesmo após o professor apresentar claramente a resposta correta a questão, os alunos continuam discutindo apresentando contraexemplos ou mesmo questionando a explicação, buscando dar sentido pessoal ao que é discutido.

Este estudo permitiu responder a algumas questões, e também a indicar a necessidade de trabalhos futuros, sobre pontos não explorados nesta tese, dada a natureza dos dados e o desenho da pesquisa. Por exemplo, uma questão que nos

provoca e nos incentiva a promover novas investigações neste ambiente, é saber se esse trabalho intenso com questões conceituais, de alguma forma tornam os estudantes mais capazes de selecionarem ou até mesmo de elaborarem boas questões conceituais? Tornam-nos mais críticos diante dos problemas tradicionais?

Também nos interessa investigar que impacto essa experiência de aprendizagem com questões conceituais de física terá sobre a prática docente dos estudantes em sua iniciação profissional. Eles farão uso da metodologia de ensino de resolução de questões conceituais? Utilizarão o trabalho em grupo? Como trabalhar a solução de questões conceituais de física no ensino médio, uma vez que neste nível, pouco conhecimento teórico em física foi sistematizado? Isso nos demandará um estudo longitudinal que extrapolará a formação universitária dos sujeitos, e nos moverá para investigação de suas práticas docentes. Certos da importância de se trabalhar questões conceituais, utilizando de preferência a metodologia de trabalho em grupo tanto no nível do ensino médio quanto no ensino superior, esperamos poder fazer essa investigação em um futuro próximo.

Como toda tese deve ser, encerramos este trabalho sem um ponto final. Mas felizes, porque muitas perguntas puderam ser respondidas, enquanto muitas outras surgiram, o que é bom, e nos permite seguir em frente. Este trabalho demonstrou a dificuldade que estes estudantes têm, mesmo estando em períodos avançados do curso, em trabalhar com conceitos básicos e fundamentais da física. Isso sinaliza, dentre outras coisas, para a ineficiência dos processos educativos pelos quais estes estudantes são submetidos. Apesar de investigarmos um curso de física em uma universidade específica, nossa experiência enquanto pesquisadores e professores de cursos de formação de inicial e continuada professores de física, nos leva a crer que a formatação de ensino e as dificuldades dos estudantes em outras universidades sejam semelhantes a relatada nesta pesquisa. Espero que este trabalho possa incentivar a melhoria da qualidade de formação dos graduandos em física, sinalizando para a necessidade de se melhorar as formas de abordagens utilizadas em sala de aula, minimizando a passividade dos estudantes, e permitindo que sejam desafiados por boas questões conceituais de física em sua formação.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, O; MORTIMER, E. F; SCOTT, P. Learning from and responding to students' questions: the authoritative and dialogic tension. *Journal of Research in Science Teaching*, 2010.
- ALVES-MAZZOTTI, A. J.. Usos e abusos dos estudos de caso. *Cadernos de pesquisa*, v. 36, n. 129, p. 637-651, 2006.
- ARAUJO, J. d. L; KAWASAKI T. F.. Movimento e Rigidez de certo triângulo: um enfoque histórico-cultural em pesquisas em educação matemática. XI Encontro Nacional de Educação Matemática, 2013.
- BAKHTIN, M. M.. *Speech Genres & Other Late Essays*, ed. by Cary Emerson & Michael Holquist, trans. by Vern W. McGee. Austin: University of Texas Press, 1986.
- CANDELA, A.. *Ciencia en la aula: los alumnos entre la argumentacion y el consenso*. Ciudad de México: Paidós Educador, 1999.
- CHIN, C; BROWN, D; BRUCE, B. C.. Student-generated questions: a meaningful aspect of learning in science. *International Journal of Science Education*, 24, 521–549, 2002.
- CHIN, C; OSBORNE, J.. Students' questions: A potential resource for teaching and learning science. *Studies in Science Education*, 44, 1–39., 2008.
- COLE, M.. Socio-cultural-historical psychology: Some general remarks and a proposal for a new kind of cultural-genetic methodology. *Sociocultural studies of mind*, p. 187-214, 1995.
- COLE, Michael. *Culture in mind*. 1996.
- DAVID, M. M; TOMAZ, V. S.. Aprendizagens Expansivas Reveladas pela Pesquisa sobre a Atividade Matemática na Sala de Aula. *Bolema*, v. 29, n. 53, p. 1287, 2015.
- ENGESTRÖM, Y.. *Learning by expanding*. Cambridge University Press, 1987.
- ENGESTROM, Y.. Interobjectivity, ideality, and dialectics. *Mind, Culture, and Activity*, v. 3, n. 4, p. 259-265, 1996.
- ENGESTRÖM, Y.. Expansive learning at work: toward an activity theoretical reconceptualization. *Journal of Education and Work*, v.14, n.1, p. 133-156, 2001.
- ENGESTRÖM, Y.. A Teoria da Atividade Histórico-Cultural e suas contribuições à Educação, Saúde e Comunicação: entrevista com Yrjö Engeström. Monica Lemos, Marco Antonio Pereira-Querol; Ildeberto Muniz de Almeida. *Interface*. V. 17, p. 715-727, 2013.
- ENGESTRÖM, Y.. *Learning by expanding*. Cambridge University Press, 2014.

- ENGESTRÖM, Y.. Aprendizagem Expansiva. Traduzido por Fernanda. Liberali. Título original: Learning by expanding. Campinas (SP): Pontes editores, 2016.
- ENGESTRÖM, Y; SANNINO, A.. Studies of expansive learning: Foundations, findings and future challenges. Educational research review, v. 5, n. 1, p. 1-24, 2010.
- ENGESTRÖM, Y; SANNINO, A.. Discursive manifestations of contradictions in organizational change efforts: A methodological framework. Journal of Organizational Change Management, v. 24, n. 3, p. 368-387, 2011.
- ENGESTRÖM, Y., RANTAVUORI, J. KEROSUO, H.. Expansive learning in a library: Actions, cycles and deviations from instructional intentions. Vocations and Learning 6(1): 81-106, 2013.
- ENGLE, R. A; CONANT, F. R.. Guiding principles for fostering productive disciplinary engagement: Explaining an emergent argument in a community of learners classroom. Cognition and Instruction, v. 20, p. 399–484, 2002.
- JULIO, J. M.. Rapazes em situação de investigação: microanálise etnográfica de aulas de física. 2007. 117 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- KAWASAKI, T. F.. Tecnologia na sala de aula de matemática. Tese de doutorado, 2007.
- KELLY, G. J.. Epistemology and Educational Research.. In: GREEN, Judith L., CAMILLI, Gregory, ELMORE, Patricia B. Handbook of complementary methods in education research. Washington: Lawrence Elbaum Associates. 2008. P.33- 55
- LEMKE, J.L.. Talking Science. Language, Learning and Values. Norwood: Ablex Publishing Corporation, 1990.
- LEONTIEV, A.. The Problem of Activity in Psychology. In: The Concept of Activity in Soviet Psychology, J.V. Wertsch, ed., M.E. Sharpe Inc., New York, pp. 37-71, 1981a.
- LEONTIEV, A. N.. Actividad. Conciencia. Personalidad. Editorial Pueblo y Educación, 1981b.
- MAZUR, E.. Peer Instruction: A User's Manual. Prentice Hall, N.J; 1997.
- MENDONÇA, D. H.. Atividade discursiva na sala de aula: contribuições das perguntas dos estudantes na construção de conhecimento científico. Dissertação (mestrado em Educação) Faculdade de educação – UFMG, Minas Gerais (2010).
- MENDONÇA, D; DIAS, P; LANDIN, N.. Análise da utilização do método de instrução pelos colegas em uma sala de aula de física. XXI Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF, 2015.
- MOREIRA, A. F; PEDROSA, J. G.; PONTELO, I.. O conceito de atividade e suas possibilidades na interpretação de práticas educativas. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, Belo Horizonte, v. 13, n. 03, p. 13-29, 2011.

- MOREIRA, A. F; PONTELO, I.. Níveis de engajamento em uma atividade prática de Física com aquisição automática de dados. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 9, n. 2, 2009. ISSN 1984-2686.
- MORTIMER, E. F; MASSICAME, T; BUTY, C; TIBERGHEN. A.. Uma metodologia para caracterizar os gêneros de discurso como tipos de estratégias enunciativas nas aulas de ciências. In NARDI, R. *A pesquisa em Ensino de Ciência no Brasil: alguns recortes*. São Paulo: Escrituras, 2007.
- MORTIMER, E.F; SCOTT, P.H.. *Meaning making in secondary science classrooms*. Buckingham: Open University Press, 2003.
- OLIVEIRA, M. K.. Vygotsky: aprendizado e desenvolvimento-um processo sócio histórico. In: Vygotsky: aprendizado e desenvolvimento-um processo sócio histórico. 1993.
- PAULA, H. D. F; MOREIRA, A. F. Activity, mediated action and school assessment. *Educação em Revista*, v. 30, n. 1, p. 17-36, 2014.
- PONTELO, I.. *Sistemas automáticos de aquisição e tratamento de dados em atividades práticas de Física: um estudo de dois casos na Iniciação Científica Júnior*. Dissertação (Mestrado em Educação Tecnológica) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.
- RODRIGUES, A. M; CAMILLO, J; MATTOS, C. R. Cultural-historical activity theory and science education: foundational principals and potentialities.: VIII IOSTE Symposium for Central and Eastern Europe: IOSTE Symposium for Central and Eastern Europe. 778: 191-200 p. 2011.
- ROTH, W.-M. INTRODUCTION: "Activity Theory and Education: An Introduction". *Mind, Culture, and Activity*, v. 11, n. 1, p. 1-8, 2004.
- ROTH, W. M., et al.. Lessons on and from the dihybrid cross: An activity–theoretical study of learning in coteaching. *Journal of research in science teaching* 39(3): 253-282, 2002.
- SILVA, F. A. R.. *Atividade investigativa na educação superior*. Tese (doutorado em Educação) Faculdade de educação – UFMG, Minas Gerais, 2011.
- SILVA, F; MORTIMER, E.. *Atividades Investigativas na educação superior*. Curitiba: Appris, 2016.
- SOUTO, D. L. P; BORBA, M.. *Transformações Expansivas em Sistemas de Atividade: o Caso da Produção Matemática com a Internet*." *Perspectivas da Educação Matemática*, Campo Grande, 2013.
- VIEIRA, R. D.; KELLY, G. J.. Multi-level discourse analysis in a physics teaching methods course from the psychological perspective of activity theory. *International Journal of Science Education*, v. 36, n. 16, p. 2694-2718, 2014.
- VYGOTSKY, L. S.. *Mind in society: The development of higher mental process*. 1978.

- VYGOTSKY, L. S.. Thinking and speech. The collected works of LS Vygotsky, v. 1, p. 39-285, 1987.
- WERTSCH, J.. Concept of activity in soviet psychology. New York: M.E. Sharpe In., 1981.
- WERTSCH, J. V.. Vygotsky and the social formation of mind. Harvard University Press, 1985.
- WERTSCH, J. V.. Voices of the mind: A sociocultural approach to mediated action. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1991.
- WERTSCH, J. V.. Mind as action. Oxford University Press. 1998.
- WEBB, N. M.. The teacher's role in promoting collaborative dialogue in the classroom. British Journal of Educational Psychology, v. 79, n. 1, p. 1-28, 2009.
- YIN, R. K.. Estudo de caso: planejamento e métodos. Porto Alegre: Bookman, 2001.

## APÊNDICE A

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO PARA PESQUISA NA ÁREA DE EDUCAÇÃO DESTINADO AO ESTUDANTE

Título do Projeto: Análise das interações discursivas em uma sala de aula de física: o trabalho em grupo como ferramenta de ensino.

Pesquisador responsável: Prof. Dr. Orlando Gomes de Aguiar Júnior

e-mail: [orlando@fae.ufmg.br](mailto:orlando@fae.ufmg.br) / fones: (31) 3409-5332 / 987525368

Pesquisador Corresponsável: Douglas Henrique de Mendonça

e-mail: [douglas.mendonca@ufv.br](mailto:douglas.mendonca@ufv.br) / fones: (31) 35362637 / 988495867

#### 1. Esta seção fornece informações acerca do estudo que você estará participando:

Você está sendo convidado(a) a participar em uma pesquisa que visa analisar as contribuições do trabalho em grupo como recurso de ensino e aprendizagem. Os resultados deste estudo poderão contribuir para que professores de ciências possam aprimorar suas atividades em sala de aula, colaborando para a aprendizagem dos estudantes.

Em caso de dúvida, você pode entrar em contato com as pesquisadoras responsáveis através dos telefones e endereços eletrônicos fornecidos nesse termo. Caso sinta a necessidade de mais esclarecimentos com relação à questões de ética, você poderá consultar o Comitê de Ética em Pesquisa (COEP) da Universidade Federal de Minas Gerais pelo telefone (31) 3409-4592 ou pelo endereço: Avenida Antônio Carlos, 6627 Unidade Administrativa II – 2º andar, sala 2005 – Campus Pampulha, Belo Horizonte, MG – Cep: 31270 901.

A participação nesta pesquisa não envolve nenhum tipo de despesa da sua parte.

Os procedimentos de pesquisa, caso haja consentimento dos envolvidos, envolverão:

- i. observação das aulas de ciências durante um mês, com anotações em caderno de campo;
- ii. coleta e reprodução de tarefas realizadas nos módulos didáticos relacionados com os temas estudados na disciplina Física Conceitual II;
- iii. filmagem das atividades realizadas nas salas de aula para posterior transcrição e análise dos processos de ensino e aprendizagem.
- iv. entrevistas com participantes (estudantes e professor) e entrevistas realizadas em pequenos grupos gravadas em áudio para análise posterior.

## **2. Esta seção descreve os riscos inerentes a esta pesquisa**

Em função da forma de coleta de dados acima especificadas, os pesquisadores consideram que há pequenos riscos relacionados a um eventual consentimento de sua parte para que você participe da pesquisa, são riscos de constrangimento, desconforto, ou cansaço pelas entrevistas e/ou filmagens, bem como a possibilidade de exposição do nome e imagens dos participantes.

Para minimizar tais riscos, na comunicação de resultados da pesquisa, o seu nome, da sua escola, e de seu professor serão retirados de todos os trabalhos e substituídos por nomes fictícios. É importante esclarecer também que as imagens coletadas não identificarão você ou seu professor como participantes da pesquisa, já que serão submetidos a um tratamento que impede essa identificação. Os pesquisadores se comprometem, ainda, a utilizar os dados aqui coletados apenas para fins desta pesquisa com os cuidados éticos na preservação da identidade dos envolvidos. As filmagens serão realizadas da forma mais discreta possível, afastando ao máximo a câmera dos participantes, tal como sugere nosso referencial de análise dos dados, iremos suprimir ao máximo a interferência no ambiente de pesquisa, tal postura, visa minimizar a possível sensação de desconforto ou constrangimento durante a coleta de dados. Com relação às entrevistas, elas irão ocorrer apenas se considerada necessárias pelos pesquisadores, e caso sejam realizadas, terão o mínimo de duração possível, além disso uma estrutura da entrevista será previamente enviada para você. Caso se sinta desconfortável para responder a qualquer ponto da entrevista, respeitaremos sua opção de se abster.

### **Esta seção descreve os seus direitos como participante desta pesquisa:**

Você pode fazer perguntas sobre a pesquisa a qualquer momento e tais questões serão respondidas.

A participação é confidencial. Apenas os pesquisadores responsáveis terão acesso à sua identidade. No caso de haver publicações ou apresentações relacionadas à pesquisa, nenhuma informação que permita a identificação será revelada.

A sua participação é voluntária e sem custos. Você é livre para deixar de participar na pesquisa a qualquer momento, bem como para se recusar a responder qualquer questão específica sem qualquer punição.

Este estudo envolverá gravação de áudio e vídeo. Apenas os pesquisadores terão acesso a estes registros. Todos os dados digitais serão destruídos após o período de 4 anos.

### **Esta seção indica que você está dando seu consentimento para que você participe da pesquisa:**

#### **Participante:**

O pesquisador Douglas Henrique de Mendonça, aluno do curso de Doutorado em Educação, Conhecimento e Inclusão Social da Faculdade de Educação (FaE) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), e seu orientador, Professor Dr. Orlando Gomes de Aguiar Júnior (FaE- UFMG) solicitaram a minha participação neste estudo intitulado “Análise das interações discursivas em uma sala de aula de física: o trabalho em grupo como ferramenta de ensino”.

Eu concordo em participar desta investigação, autorizo a utilização de trabalhos produzidos em aulas de ciências, o registro em vídeo de atividades em sala de aula e a participação em entrevistas. Eu li e compreendi as informações fornecidas. Eu entendi e concordo com as condições do estudo como descritas. Eu entendo que receberei uma via assinada deste formulário de consentimento.

Eu, voluntariamente, aceito em participar desta pesquisa. Portanto, concordo com tudo que está escrito acima e dou meu consentimento.

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2017.

Nome legível: \_\_\_\_\_.

Assinatura : \_\_\_\_\_.

**Pesquisadores:**

Eu garanto que este procedimento de consentimento foi seguido e que eu respondi quaisquer questões que o participante colocou da melhor maneira possível.

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2017.

\_\_\_\_\_

Assinatura do Orientador da Pesquisa

Prof. Dr. Orlando Gomes de Aguiar Júnior

\_\_\_\_\_

Assinatura do Pesquisador corresponsável

Douglas Henrique de Mendonça

## APENDICE B

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO PARA PESQUISA NA ÁREA DE EDUCAÇÃO DESTINADO AO PROFESSOR

Título do Projeto: Análise das interações discursivas em uma sala de aula de física: o trabalho em grupo como ferramenta de ensino.

Pesquisador responsável: Prof. Dr. Orlando Gomes de Aguiar Júnior

e-mail: [orlando@fae.ufmg.br](mailto:orlando@fae.ufmg.br) / fones: (31) 3409-5332 / 987525368

Pesquisador Corresponsável: Douglas Henrique de Mendonça

e-mail: [douglas.mendonca@ufv.br](mailto:douglas.mendonca@ufv.br) / fones: (31) 35362637 / 988495867

#### 1. Esta seção fornece informações acerca do estudo que você estará participando:

Você está sendo convidado(a) a participar em uma pesquisa que visa analisar as contribuições do trabalho em grupo como recurso de ensino e aprendizagem. Os resultados deste estudo poderão contribuir para que professores de ciências possam aprimorar suas atividades em sala de aula, colaborando para a aprendizagem dos estudantes.

Em caso de dúvida, você pode entrar em contato com as pesquisadoras responsáveis através dos telefones e endereços eletrônicos fornecidos nesse termo. Caso sinta a necessidade de mais esclarecimentos com relação à questões de ética, você poderá consultar o Comitê de Ética em Pesquisa (COEP) da Universidade Federal de Minas Gerais pelo telefone (31) 3409-4592 ou pelo endereço: Avenida Antônio Carlos, 6627 Unidade Administrativa II – 2º andar, sala 2005 – Campus Pampulha, Belo Horizonte, MG – Cep: 31270 901.

A participação nesta pesquisa não envolve nenhum tipo de despesa da sua parte.

Os procedimentos de pesquisa, caso haja consentimento dos envolvidos, envolverão:

- i. observação das aulas de ciências durante um mês, com anotações em caderno de campo;
- ii. coleta e reprodução de tarefas realizadas nos módulos didáticos relacionados com os temas estudados na disciplina Física Conceitual II;
- iii. filmagem das atividades realizadas nas salas de aula para posterior transcrição e análise dos processos de ensino e aprendizagem.
- iv. entrevistas com participantes (estudantes e professor) e entrevistas realizadas em pequenos grupos gravadas em áudio para análise posterior.

#### 2. Esta seção descreve os riscos inerentes a esta pesquisa

Em função da forma de coleta de dados acima especificadas, os pesquisadores consideram que há pequenos riscos relacionados a um eventual consentimento de sua parte para que você participe da pesquisa, são riscos de constrangimento, desconforto, ou cansaço pelas entrevistas e/ou filmagens, bem como a possibilidade de exposição do nome e imagens dos participantes.

Para minimizar tais riscos, na comunicação de resultados da pesquisa, o seu nome, da sua escola e de seus alunos serão retirados de todos os trabalhos e substituídos por nomes fictícios. É importante esclarecer também que as imagens coletadas não identificarão você nem seus alunos como participantes da pesquisa, já que serão submetidos a um tratamento que impede essa identificação. Os pesquisadores se comprometem, ainda, a utilizar os dados aqui coletados apenas para fins desta pesquisa com os cuidados éticos na preservação da identidade dos envolvidos. As filmagens serão realizadas da forma mais discreta possível, afastando ao máximo a câmera dos participantes, tal como sugere nosso referencial de análise dos dados, iremos suprimir ao máximo a interferência no ambiente de pesquisa, tal postura, visa minimizar a possível sensação de desconforto ou constrangimento durante a coleta de dados. Com relação às entrevistas, elas irão ocorrer apenas se considerada necessárias pelos pesquisadores, e caso sejam realizadas, terão o mínimo de duração possível, além disso uma estrutura da entrevista será previamente enviada para você. Caso se sinta desconfortável para responder a qualquer ponto da entrevista, respeitaremos sua opção de se abster.

### **3. Esta seção descreve os seus direitos como participante desta pesquisa:**

Você pode fazer perguntas sobre a pesquisa a qualquer momento e tais questões serão respondidas.

A participação é confidencial. Apenas os pesquisadores responsáveis terão acesso à sua identidade. No caso de haver publicações ou apresentações relacionadas à pesquisa, nenhuma informação que permita a identificação será revelada.

A sua participação é voluntária e sem custos. Você é livre para deixar de participar na pesquisa a qualquer momento, bem como para se recusar a responder qualquer questão específica sem qualquer punição.

Este estudo envolverá gravação de áudio e vídeo. Apenas os pesquisadores terão acesso a estes registros. Todos os dados digitais serão destruídos após o período de 4 anos.

### **4. Esta seção indica que você está dando seu consentimento para que você participe da pesquisa:**

#### **Participante:**

O pesquisador Douglas Henrique de Mendonça, aluno do curso de Doutorado em Educação, Conhecimento e Inclusão Social da Faculdade de Educação (FaE) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), e seu orientador, Professor Dr. Orlando Gomes de Aguiar Júnior (FaE- UFMG) solicitaram a minha participação neste estudo intitulado “Análise das interações discursivas em uma sala de aula de física: o trabalho em grupo como ferramenta de ensino”.

Eu concordo em participar desta investigação, autorizo a utilização de trabalhos produzidos em aulas de ciências, o registro em vídeo de atividades em sala de aula e a participação em entrevistas. Eu li e compreendi as informações fornecidas. Eu entendi e concordo com as condições do estudo como descritas. Eu entendo que receberei uma via assinada deste formulário de consentimento.

Eu, voluntariamente, aceito em participar desta pesquisa. Portanto, concordo com tudo que está escrito acima e dou meu consentimento.

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2017.

Nome legível:\_\_\_\_\_.

Assinatura :\_\_\_\_\_.

**Pesquisadores:**

Eu garanto que este procedimento de consentimento foi seguido e que eu respondi quaisquer questões que o participante colocou da melhor maneira possível.

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2017.

\_\_\_\_\_

Assinatura do Orientador da Pesquisa

Prof. Dr. Orlando Gomes de Aguiar Júnior

\_\_\_\_\_

Assinatura do Pesquisador responsável

Douglas Henrique de Mendonça

## ANEXO

### CRONOGRAMA E QUESTIONÁRIOS DE FÍSICA CONCEITUAL 2

## FÍSICA CONCEITUAL II

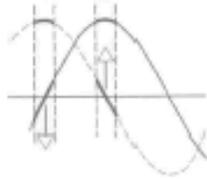
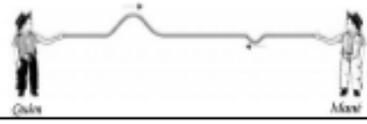
CALENDÁRIO - 1º semestre de 2017

N.	DIA	MÊS	ASSUNTO
1.	13	MAR	Apresentação do Curso e Teste Inicial
2.	15		Cap.19 – Vibrações e Ondas
3.	20		Cap.20 – Som
4.	22		Cap.21 – Sons Musicais
5.	27		Caps.19 a 21 – Ondas <i>FC 2 62 - Cam PROB.</i>
6.	29		<b>Discussão de Dúvidas – Caps. 19 a 21</b>
7.	3	ABR	Cap.22 – Eletrostática
8.	5		Cap.23 – Corrente Elétrica
9.	10		Cap.24 – Magnetismo
10.	12		Cap.25 – Indução Eletromagnética
11.	17		Caps. 22 a 25 - Eletromagnetismo
12.	19		<b>Discussão de Dúvidas – Caps. 22 a 25</b>
13.	24		<b>1ª Prova – Caps. 19 a 25</b>
14.	26	Cap.26 – Propriedades da Luz	
---	1		<i>Feriado</i>
15.	3	MAI	Cap.27 – Cor <i>AUSENTE</i>
16.	8		Cap.28 – Reflexão e Refração
17.	10		<b>Discussão de Dúvidas – Caps. 26 a 28</b>
18.	15		Cap.29 – Ondas Luminosas
19.	17		Cap.30 – Emissão de Luz
20.	22		Cap.31 – Os Quanta de Luz
21.	24		<b>Discussão de Dúvidas – Caps. 29 a 31</b>
22.	29	<b>2ª Prova – Caps. 26 a 31</b>	
23.	31	Cap.32 – O Átomo e o Quantum	
24.	5	JUN	Cap.33 – Núcleo Atômico e Radioatividade
25.	7		Cap.34 – Fissão e Fusão Nucleares
26.	12		<b>Discussão de Dúvidas – Caps. 32 a 34</b>
27.	14		Cap.35 – Teoria Especial da Relatividade – I
28.	19		Cap.35 – Teoria Especial da Relatividade – II
29.	21		Cap.36 – Teoria Geral da Relatividade
30.	26		<b>Discussão de Dúvidas – Caps. 35 e 36</b>
31.	28	<b>3ª PROVA – Caps. 31 a 36</b>	
32.	3	JUL	<i>Aula Reserva</i>
33.	5		<b>Exame Especial – Caps. 19, 20, 22, 24, 25, 28, 29, 30, 33, 34 e 35.</b>

## FÍSICA CONCEITUAL II

### Questões do Capítulo 19 – *Vibrações e Ondas*

$$v_{\text{som}} = 340 \text{ m/s}$$

1.	Fafá (40 kg), Quim (60 kg) e Mané (também 60 kg) estão brincando, cada um em seu balanço. Os três balanços têm mesmo comprimento e, nessa brincadeira, Fafá e Quim estão sentados no balanço, enquanto que Mané está em pé. Como se comparam os períodos dos movimentos de Fafá, de Quim e de Mané?
2.	Mané brinca produzindo ondas ao bater com uma varinha na superfície de um lago. Explique porque as ondas formadas por Mané têm sua amplitude diminuída à medida que se afastam dele.
3.	A figura ao lado mostra uma onda que se propaga ao longo de uma corda em um plano horizontal (p.ex., em cima de uma mesa). A linha pontilhada mostra o perfil da onda em um certo instante e a linha cheia a mesma onda um pouco depois. As setas indicam o sentido do movimento do pedaço da corda que está em negrito. Na linha cheia, que região da corda tem mais energia e que região tem menos energia – perto da posição de equilíbrio ou nos extremos? 
4.	Quim e Mané produzem pulsos de amplitudes diferentes em uma corda, como mostrado na figura. Desenhe o formato dessa corda quando A. os dois pulsos se encontrarem; B. depois desse encontro. 
5.	Uma corda está presa pelas extremidades e é colocada para oscilar, em um plano horizontal, formando uma onda estacionária, da forma mostrada na figura: a figura da esquerda corresponde ao instante $t = 0$ ; a do meio, ao instante $t = 0,1 \text{ s}$ ; e a da direita, ao instante $t = 0,2 \text{ s}$ .  Comente as seguintes afirmativas, dizendo quais são verdadeiras e quais são falsas: A) nos pontos de máximo, a energia é positiva e, nos de mínimo, negativa. B) a energia na corda no instante $t = 0,1 \text{ s}$ é nula. C) a energia se propaga de uma extremidade a outra da corda e depois volta. D) em cada ponto, a energia é constante.
6.	Os astrônomos verificam que a luz emitida por um certo elemento químico em uma das bordas do Sol tem uma frequência maior do que a luz que é emitida pelo mesmo elemento na borda oposta. Que informação essas medidas nos dão?
7.	A. O que você pode afirmar acerca da velocidade de um barco que produz uma onda de proa, como a mostrada na figura? B. Aumentando a velocidade do barco, o ângulo do cone da onda de choque será maior, menor ou permanecerá o mesmo? 
8.	Um estrondo sônico ocorre somente no instante que o avião está com a velocidade igual à velocidade do som?

## FÍSICA CONCEITUAL II

### Questões do Capítulo 20 – Som

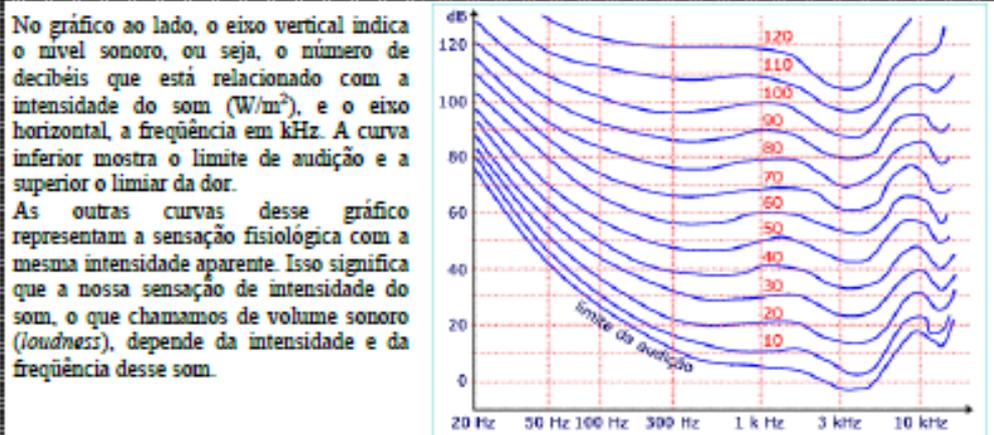
Considere  $v_{\text{som}} = 340 \text{ m/s}$ .

1.	Cite uma evidência de que a velocidade do som no ar é a mesma para todas as frequências.	
2.	A atmosfera terrestre é composta basicamente de nitrogênio ( $N_2$ ). Imagine três planetas – Épsilon, Ômicron e Ípsilon – que tivessem a atmosfera de hélio, de vapor de água e de dióxido de carbono, respectivamente, com as mesmas condições de pressão e temperatura que a Terra. Ordene esses quatro planetas em ordem decrescente da velocidade do som na atmosfera.	
3.	A. Quando a temperatura aumenta, a velocidade do som no ar aumenta ou diminui? B. E se a umidade aumenta, a velocidade do som no ar aumenta ou diminui?	
4.	Quim sacode a extremidade de uma corda muito comprida, para cima e para baixo, e gera uma onda polarizada que se propaga ao longo dessa corda. A. É possível gerar ondas não polarizadas em uma corda? Como? B. É possível gerar ondas não polarizadas na superfície da água? Como? C. É possível polarizar ondas sonoras?	
5.	As ondas sísmicas geradas em um terremoto se propagam na Terra de duas formas: transversal, com velocidade de $4,5 \text{ Km/s}$ , e longitudinal, com $8,2 \text{ km/s}$ . A. Como um sismógrafo consegue detectar a que distância ocorreu um terremoto? B. Qual é o número mínimo de sismógrafos necessários para determinar a posição exata (latitude, longitude e profundidade) de um terremoto?	
6.	Quim e Mané colocam duas antenas parabólicas, uma de frente para a outra, separadas por uma distância de uns $30 \text{ m}$ . Quando Mané se coloca no foco de uma das antenas e Quim se coloca no foco da outra, eles conseguem conversar falando baixo. Explique!	
7.	Seu Zé está na praia quando vê Fafá no mar quase se afogando. Ele sai correndo para ajudá-la. As posições de Seu Zé e de sua filha estão mostradas na figura. Qual a trajetória que ele deve seguir para chegar o mais rápido onde está Fafá?	
8.	Mané toca uma corneta e, como o ar perto da superfície da Terra está mais quente ( <i>warm</i> ), seu cachorro Nero não o ouve. No entanto, quando há a inversão térmica e o ar perto da superfície fica mais frio ( <i>cool</i> ) que o de cima, Nero ouve o som emitido pela corneta, como mostra a figura. Explique porque isso ocorre.	
9.	Para conseguir ser ouvido por Fafá, que está muito distante, Mané fala através de um cone. Por que só assim ele consegue ser ouvido por ela?	

## FÍSICA CONCEITUAL II

### Questões do Capítulo 21 – Sons Musicais

Considere  $v_{\text{som}} = 340 \text{ m/s}$ .



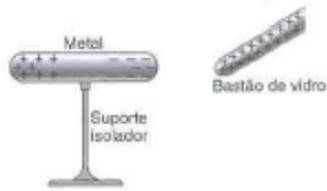
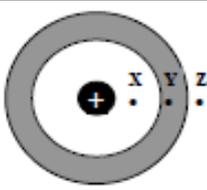
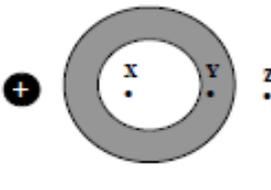
1.	Quais as propriedades físicas correspondentes às sensações humanas de altura de um som, intensidade sonora, volume do som e timbre?
2.	A intensidade sonora dos comerciais da TV é regulamentada, ou seja, não pode exceder um certo limite em decibéis. No entanto, os anunciantes concentram o som dos comerciais em uma faixa de frequências de forma que o volume sonoro seja maior do que a programação normal. Que faixa de frequências é essa?
3.	A tabela 21.1 do livro do Hewitt tem alguns erros. Encontre-os!
4.	O som em um show de uma banda de rock atinge o nível sonoro de 120 dB no palco. Faça suposições razoáveis e estime esse nível sonoro a 10 m e a 100 m do palco.
5.	A corda de um violão é presa nas duas extremidades. A) Desenhe os dois primeiros harmônicos para essa corda. B) Os fatores que influenciam a velocidade de propagação de uma onda nessa corda são a densidade linear $\mu$ (massa por unidade de comprimento) e a tensão da corda $T$ . Usando análise dimensional, determine uma expressão para essa velocidade em função de $\mu$ e $T$ .
6.	Em música, uma oitava é o intervalo entre uma nota musical e outra com o dobro (ou a metade) de sua frequência. Por quantas oitavas um ouvido humano normal consegue escutar sons?
7.	Um diapasão em forma de forquilha tem os braços compridos e outro tem os braços curtos. Como se comparam os sons emitidos por eles?
8.	<p>Quim bate com um martelo em um diapasão solto (à esquerda na figura) e, colocando-o perto do ouvido, consegue perceber seu som. Depois, ele coloca o diapasão em uma caixa ressonante (à direita na figura) e repete a batida com o martelo. Agora ele ouve o som muito mais claro e que perdura muito mais tempo. Explique!</p>

**FÍSICA CONCEITUAL II**  
**Questões dos Capítulos 19 a 21 – Ondas**

$v_{\text{som}} = 340 \text{ m/s}$

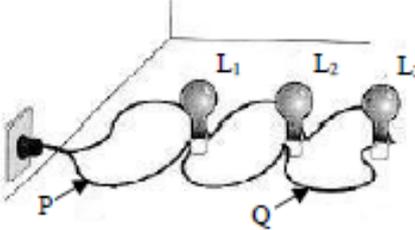
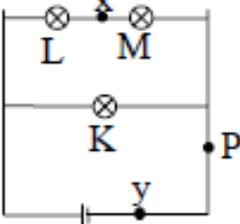
1.	Seu Zé prende a extremidade de uma lâmina de  serra para metais, mostrada na figura, e bate com força na extremidade livre. Isso faz com que a lâmina vibre com certa frequência. A seguir, ele coloca um pedaço de massa de modelar na extremidade livre e volta a dar uma batida. A frequência de vibração nesta situação é maior, menor ou igual à situação anterior?
2.	Para conseguir ser ouvido por Fafá, que está muito distante, Mané fala através de um cone. Por que só assim ele consegue ser ouvido por ela?
3.	Em uma sala de aula, dois alto-falantes são ligados a um gerador de som ajustado para emitir um tom puro que tem um comprimento de onda no ar de 4,0 m. Se a distância entre os alto-falantes é de 6,0 m, faça um diagrama indicando os pontos da sala onde o som será mais intenso e onde ele será menos intenso.
4.	Operadores de britadeiras utilizam protetores auriculares que abafam o barulho das britadeiras, mas permitem que eles conversem normalmente. Explique!
5.	Por que os soldados devem deixar de marchar quando vão atravessar uma ponte?
6.	Os seres humanos não conseguem escutar sons na faixa de 100 kHz. Fafá está em uma sala que tem duas fontes emitindo ondas sonoras, uma de 100 kHz e a outra de 102 kHz. Ela escutará alguma coisa?
7.	Fafá tem a mania de cantar quando está tomando banho e nota que sua voz soa mais cheia. Explique!
8.	Antes de um concerto, os músicos de uma orquestra “esquentam” seus instrumentos para só depois afiná-los. Explique a importância disso para os instrumentos de corda e de sopro.
9.	A. Quim aspira gás hélio e sua voz fica mais estridente. Por quê? B. Mané aspira outro gás e sua voz fica mais grave. O que você pode afirmar sobre esse gás?

**FÍSICA CONCEITUAL II**  
**Questões do Capítulo 22 – Eletrostática**

1.	O que significa uma grandeza ser quantizada? Dê exemplos e contraexemplos do cotidiano.	
2.	Quando aproximamos um bastão negativamente carregado de um pedacinho de papel, este é atraído pelo bastão. Isso ocorre porque os lados positivos das moléculas são atraídos pelo bastão e os negativos, repelidos. A. Como as cargas positivas e negativas nos lados opostos do papel são iguais, por que as forças atrativas e repulsivas não se cancelam? B. Compare a força elétrica que atua sobre o bastão com a que atua sobre os pedacinhos de papel.	
3.	Aproxima-se um bastão de vidro eletricamente carregado de uma barra metálica, como mostrado na figura. A. Após um tempo muito curto, o fluxo de elétrons na barra metálica cessa. Explique! B. Qual o valor do campo elétrico em qualquer ponto no interior dessa barra metálica?	 <p>Metals Suporte Isolador Bastão de vidro</p>
4.	Podem haver diferença de potencial entre dois objetos metálicos que tenham a mesma quantidade de carga de mesmo sinal?	
5.	O campo elétrico dentro de um objeto metálico é nulo. Isso significa que o potencial elétrico também é nulo? Caso afirmativo, explique porque. Caso negativo, o que se pode afirmar então sobre o potencial elétrico?	
6.	A figura mostra uma esfera oca com uma casca metálica na qual foi colocada uma carga positiva no seu interior. A. Descreva como fica a distribuição de cargas na casca metálica. B. Qual é a direção e sentido do campo elétrico no ponto X, no interior da esfera? C. E no ponto Y, no interior da casca metálica? D. E no ponto Z, no exterior da esfera?	
7.	A figura mostra uma esfera oca com uma casca metálica e uma carga positiva foi colocada perto dela, mas do lado de fora da esfera. A. Descreva como fica a distribuição de cargas na casca metálica. B. Qual é a direção e sentido do campo elétrico no ponto X, no interior da esfera? C. E no ponto Y, no interior da casca metálica? D. E no ponto Z, no exterior da esfera?	
8.	Se você é apanhado a céu aberto por uma tempestade, por que não deve A. se abrigar debaixo de uma árvore? B. ficar de pé com as pernas abertas? C. deitar-se no solo?	

## FÍSICA CONCEITUAL II

### Questões do Capítulo 23 – Corrente Elétrica

1.	Um fio conduzindo corrente elétrica está eletricamente carregado?	
2.	<p>A figura ilustra a forma como três lâmpadas estão ligadas a uma tomada. Em um determinado instante, a lâmpada <math>L_2</math> se queima.</p> <p>A. A corrente elétrica no ponto P aumenta, diminui ou permanece a mesma?</p> <p>B. E no ponto Q?</p> <p>C. E o brilho da lâmpada <math>L_3</math>, é alterado?</p> <p>D. E na lâmpada <math>L_1</math>?</p>	
3.	<p>A figura mostra um circuito elétrico com três lâmpadas idênticas – K, L e M – ligadas a uma bateria.</p> <p>A. Compare os brilhos das três lâmpadas.</p> <p>B. Um fio condutor é colocado ligando os pontos x e y.</p> <p>i) A corrente elétrica no ponto P aumenta, diminui ou permanece constante?</p> <p>ii) Compare os brilhos das três lâmpadas nesta nova situação.</p>	
4.	<p>Para saber se uma tomada elétrica de sua casa está funcionando, Seu Zé pega uma pequena lâmpada com dois fios e os conecta à tomada. Se a lâmpada acende, significa que a tomada tem uma diferença de potencial entre seus dois pinos.</p> <p>A. Ele resolve fazer um teste e coloca só um fio em um pino de uma tomada de 127 V e o outro ele encosta numa conexão metálica para ligar à terra. Ele nota que, com o fio em um pino, a lâmpada não acende, mas se ele coloca o fio no outro pino, ela acende. Explique!</p> <p>B. O que ocorre se ele fizer esse teste em uma tomada de 220 V?</p>	
5.	Um ebulidor tem as especificações: 1200 W – 220 V. Para esquentar água, Mané o liga a uma rede elétrica de 110 V. É correto afirmar que, na rede de 110 V, ele vai demorar o dobro do tempo do que demoraria na de 220 V?	
6.	<p>Uma lanterna de mão é alimentada por duas pilhas tipo D (1,5 V – 3,5 Ah), ligadas em série, e possui uma lâmpada de 3 W – 3,0 V.</p> <p>A. Qual é a energia total armazenada em uma pilha?</p> <p>B. Em condições ideais, por quanto tempo as pilhas são capazes de manter a lâmpada acesa?</p> <p>C. Na prática, o tempo que a pilha consegue fazer a lâmpada brilhar é maior ou menor do que o calculado no item anterior?</p>	
7.	Por que a transmissão de eletricidade das usinas para os centros consumidores é feita em alta voltagem?	
8.	O consumo de energia de uma lâmpada incandescente é mais alto logo após ela ser ligada e depois diminui. Por quê?	

## FÍSICA CONCEITUAL II

### Questões do Capítulo 24 – *Magnetismo*

1.	Faça um esboço da sala onde você está e indique nesse esboço a direção e sentido do campo magnético terrestre.
2.	Quando um ímã se aproxima de um prego de ferro, este é atraído, mesmo que o prego não esteja magnetizado. Se o prego for de cobre ou de alumínio, isso não ocorre. Explique em termos microscópicos o que acontece que faz com que o prego de ferro seja atraído, mas o de cobre não.
3.	A. Por que nem todos objetos feitos de ferro são ímãs? B. Cite duas formas para transformar um prego de ferro em um ímã.
4.	A presença de um pedaço de ferro dentro de uma espira que conduz uma corrente elétrica aumenta a intensidade do campo magnético. Por quê?
5.	A figura mostra uma bússola de inclinação magnética que serve para determinar a inclinação abaixo da horizontal das linhas do campo magnético terrestre. Você acha que essa inclinação é maior aqui em BH ou lá no Sul da Patagônia?
6.	Um campo magnético constante é capaz de realizar trabalho sobre um elétron?
7.	Quem recebe mais raios cósmicos, nós ou os australianos que estão próximos do pólo magnético do hemisfério sul?
8.	<p>Seletores de velocidade são utilizados em alguns aparelhos para permitir a passagem somente de íons que têm uma determinada velocidade. Nesses seletores, um campo elétrico e um campo magnético são aplicados de tal forma, que apenas íons com uma velocidade específica o atravessam sem serem desviados.</p> <p>O campo elétrico é produzido por duas placas metálicas paralelas, nas quais é aplicada uma diferença de potencial, como representado na figura. O campo magnético, constante e uniforme, é produzido por um eletroímã, não mostrado nessa figura.</p>  <p>A. Para o campo elétrico indicado na figura, qual é a direção e o sentido que o campo magnético deve ter, na região entre as placas, a fim de que íons positivos atravessem o seletor de velocidades sem serem desviados?</p> <p>B. Se os íons forem negativos, o sentido do campo magnético tem que ser invertido ou deve permanecer o mesmo?</p> <p>C. Se forem enviados para esse seletor um feixe com outros íons com massa maior, mas com a mesma carga e velocidade, o feixe será desviado? Em caso afirmativo, em que direção? Em caso negativo, justifique!</p> <p>D. E se forem enviados para esse seletor um feixe com outros íons com carga maior, mas com a mesma massa e velocidade, o feixe será desviado? Em caso afirmativo, em que direção? Em caso negativo, justifique!</p>



## FÍSICA CONCEITUAL II

### Questões do Capítulo 25 – Indução Eletromagnética

1.	<p>Mané gira uma espira metálica, com velocidade angular constante, na presença de um campo magnético, como mostra a figura.</p> <p>A. Explique por que, nessa situação, aparece uma corrente elétrica na espira.</p> <p>B. Essa corrente elétrica é contínua ou alternada?</p> <p>C. Em um determinado momento, Mané pára de fazer força sobre a espira. Após esse momento, a velocidade angular da espira aumenta, diminui ou permanece constante?</p>	
2.	<p>Um detector de terremotos consiste de uma caixa firmemente acoplada à Terra. Dentro dessa caixa encontra-se suspenso um ímã muito pesado, rodeado de uma bobina afixada à caixa. Explique como esse aparelho consegue detectar os tremores de terra.</p>	
3.	<p>D. Maria bate uma sopa bem grossa no liquidificador e assim o motor gira bem devagar. Depois, retira essa sopa e coloca água para lavar o copo, então o motor gira rapidamente. Nos dois momentos – batendo a sopa e agitando a água – ela acionou o motor do liquidificador com o mesmo botão. A potência elétrica consumida quando ela está batendo a sopa é maior, menor ou igual à potência consumida quando ela está limpando o copo do liquidificador?</p>	
4.	<p>Quim faz uma espira com um fio de cobre e empurra um ímã bruscamente para dentro dessa espira. Em seguida, ele pega o dobro de comprimento de fio e faz uma espira dupla, empurrando novamente o ímã tão bruscamente quanto antes. Compare as voltagens e as correntes que aparecem nas espiras nessas duas situações.</p>	
5.	<p>Um ímã, com seu polo norte apontando para baixo, cai e atravessa uma espira de cobre, que está em um plano horizontal, como mostra a figura.</p> <p>A. Quando o ímã está se aproximando da espira,</p> <p style="margin-left: 20px;">i. ela atrai ou repele o ímã?</p> <p style="margin-left: 20px;">ii. qual é o sentido da corrente elétrica na espira – KLM ou MLK?</p> <p>B. E quando o ímã está se afastando da espira,</p> <p style="margin-left: 20px;">i. ela atrai ou repele o ímã?</p> <p style="margin-left: 20px;">ii. qual é o sentido da corrente elétrica na espira – KLM ou MLK?</p>	
6.	<p>Em uma aula de eletromagnetismo, um professor faz a montagem mostrada, de forma esquemática, na figura. Nessa montagem, uma barra de cobre está em contato elétrico com dois trilhos metálicos paralelos e pode deslizar sobre eles, sem atrito. Esses trilhos estão fixos sobre uma mesa horizontal, em uma região onde há um campo magnético uniforme, vertical e com sentido para baixo, que está indicado, na figura, pelo símbolo <math>\otimes</math>. Os trilhos são ligados em série a um amperímetro e a um resistor <math>R</math>. Inicialmente, a barra está em repouso e, em certo momento, o professor empurra a barra no sentido indicado pela seta. Nessa situação, ele observa uma corrente elétrica no amperímetro.</p> <p>A. Qual é o sentido da corrente elétrica no resistor?</p> <p>B. Após isso, o professor solta a barra. Sua velocidade aumenta, diminui ou permanece constante?</p>	
7.	<p>Um avião em vôo apresenta uma ddp entre as pontas das asas de sua estrutura metálica. Explique porque aparece essa ddp.</p>	

## FÍSICA CONCEITUAL II

### Questões dos Capítulos 22 a 25 – *Eletromagnetismo*

1.	Suponha que as duas placas de um capacitor possuam áreas diferentes e esse capacitor é carregado por meio de uma conexão a uma bateria. Qual das duas placas – a maior ou a menor – armazena mais carga?
2.	A. Uma barra metálica é colocada entre as placas de um capacitor sem que ela toque nessas placas. A capacitância aumenta, diminui ou não se altera? B. E se em vez de se colocar uma barra metálica se colocar uma barra isolante, o que ocorre?
3.	<p>Para medir uma resistência elétrica, é possível utilizar os circuitos mostrados nas figuras ao lado, com uma bateria, a resistência (<math>\otimes</math>), um voltímetro (V) e um amperímetro (A). Nos dois casos, o valor da resistência é dado pela razão entre o valor indicado no voltímetro pelo do amperímetro.</p> <p>A. Qual dos dois circuitos é mais adequado para medir uma resistência elétrica que tem um valor muito alto: o Circuito I, o Circuito II ou os dois circuitos indicam o mesmo valor?</p> <p>E qual é adequado para medir uma resistência elétrica que tem um valor muito baixo?</p>
4.	<p>Suponha que a transmissão de energia de uma usina para um centro consumidor seja feita utilizando-se corrente contínua.</p> <p>Uma potência de 120 kW é transmitida de uma usina para a cidade por um par de fios condutores entre os quais existe uma ddp de 12 kV. Cada fio tem uma resistência de aproximadamente 10 <math>\Omega</math>.</p> <p>A. Qual é a corrente que flui em um fio? B. Qual é a queda de tensão elétrica ao longo de cada fio? C. Qual é a potência dissipada na transmissão dessa energia? D. Responda o item anterior se a ddp entre os fios fosse a metade.</p>
5.	Galvanômetros são aparelhos sensíveis a uma corrente elétrica. Um galvanômetro é calibrado para medir diferenças de potencial – voltímetro – e outro para medir correntes elétricas – amperímetro. Qual é a diferença entre esses dois galvanômetros?
6.	Cite as semelhanças e as diferenças entre um galvanômetro e um motor elétrico de corrente contínua.
7.	Cite as semelhanças e as diferenças entre um motor elétrico de corrente alternada e um gerador elétrico.
8.	A. Como uma onda eletromagnética atua sobre os elétrons de uma haste metálica? B. Existe reação a essa ação?
9.	A. Por que a transmissão de energia pela CEMIG é feita utilizando quatro linhas? B. Se a ligação em uma casa é feita entre uma fase e o neutro, a ddp é de 127 V. Já se ela é feita entre duas fases, a ddp é de 220 V. Em algumas fábricas, esses valores são 220 V e 380 V, respectivamente. Explique esses números.

**FÍSICA CONCEITUAL II**  
 Questões do Capítulo 26 – *Propriedades da Luz*

1.	Por que os metais polidos são brilhantes?
2.	Você pode queimar sua pele em um dia nublado, mas não ficará bronzeado se num dia ensolarado você permanecer atrás de uma janela de vidro. Por quê?
3.	Em lugares em que o inverno é rigoroso, as casas costumam ter aquecimento e ficam todas fechadas com bom isolamento térmico. Ao tirar uma fotografia externa de uma dessas casas à noite, usando filme sensível somente ao infravermelho, as janelas de vidro aparecem com mais destaque, com mais 'luz', que as paredes. Explique essa aparente contradição, já que vimos que o vidro é opaco ao infravermelho.
4.	<p>A figura mostra uma bola e uma lâmpada, ambas de mesmo tamanho. A bola está a meia distância entre a lâmpada e a parede. Com relação ao diâmetro da bola, determine o diâmetro da umbra e da penumbra.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>Lâmpada</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Bola</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Parede</p>  </div> </div>
5.	<p>Um astronauta está na Lua.</p> <p>A. Que tipo de fenômeno vê esse astronauta quando, na Terra, está ocorrendo um eclipse lunar?</p> <p>B. E quando ocorre um eclipse solar?</p>
6.	Por que não conseguimos ver direito as cores quando olhamos de canto de olho, mas percebemos bem os movimentos?
7.	De noite, quando olhamos para o céu, vemos milhões de estrelas e todas nos parecem brancas. No entanto, se tirarmos uma fotografia com um filme sensível e um tempo de exposição razoável, vemos que algumas são vermelhas, outras azuis. Por que não conseguimos ver as cores das estrelas?
8.	<p>A. A intensidade da luz emitida por uma lâmpada cai com o inverso do quadrado da distância à lâmpada. Como fica a conservação da energia?</p> <p>B. E a intensidade de um feixe de laser, como cai com a distância?</p>

**FÍSICA CONCEITUAL II**  
Questões do Capítulo 27 – Cor

1.	A. Em uma sala escura, dois feixes de luz branca incidem sobre uma tela branca: um dos feixes atravessou uma vidraça azul e o outro, uma vidraça amarela. De que cor fica a tela onde os dois feixes se sobrepõem? B. E se um único feixe de luz branca atravessar a vidraça azul e depois a amarela, de que cor fica a tela?
2.	Em aparelhos de televisão é usado o padrão RGB (red-green-blue), ou seja, são enviados três feixes para a tela escura – um que sozinho produz o vermelho, outro que produz o verde e, o último, o azul. As outras cores são produzidas quando esses feixes incidem com intensidades diferentes. Como se produz o branco? E o amarelo?
3.	Nas impressoras jato de tinta, quatro feixes são enviados para o papel branco – um que sozinho produz o magenta, outro o amarelo, outro o ciano e, por último, o preto. As outras cores são produzidas quando esses feixes incidem com intensidades diferentes. Como se produz o verde?
4.	Uma lâmpada de um certo gás emite uma luz cujo espectro apresenta duas raias muito próximas, ambas na região do amarelo. A projeção dessa luz em uma tela branca é filmada e fotografada. A. Esse filme passa na TV. Como é, aproximadamente, o espectro dessa luz amarela emitida pela TV? B. Como é, também aproximadamente, o espectro dessa luz amarela quando a foto é impressa em uma impressora jato de tinta?
5.	A maior parte das nuvens são constituídas de partículas de todos os tamanhos, desde minúsculas – que espalham mais as ondas de altas frequência – até as grandes – que espalham principalmente as ondas de baixa frequência. De que cor são essas nuvens?
6.	Partículas muito grandes, como gotas de água, absorvem mais radiação do que espalham. Qual é a aparência das nuvens de chuva?
7.	A Terra, vista do espaço, é azul. Por quê?
8.	Por que o pôr-do-sol é vermelho?
9.	Em uma sala escura, Mané envia um feixe horizontal de luz branca para um aquário cheio de água. Ele nota que a água é transparente e aparece um feixe branco na parede oposta. Ele então pinga algumas gotas de leite na água e nota que a água ficou azulada. A. Explique porque isso ocorre. B. De que cor fica o feixe que incide na parede?

## FÍSICA CONCEITUAL II

### Questões do Capítulo 28 – Reflexão e Refração

1.	Durante o dia, D. Maria encontra-se na sala de sua casa, em frente a uma janela de vidro plano transparente e, através dela, vê a paisagem do lado de fora. À noite, D. Maria estando no mesmo local com a luz da sala acesa, olha para a janela, vê sua imagem refletida, mas não vê mais a paisagem. Explique porque de dia D. Maria consegue ver a paisagem e de noite não, só vê o seu reflexo.
2.	Por que é difícil ver a rodovia à sua frente quando você está dirigindo à noite e a pista está molhada?
3.	Quim coloca um bastão de vidro dentro da água e consegue vê-lo claramente. Quando o coloca dentro de um copo com óleo de soja, ele tem alguma dificuldade de ver o bastão e, por fim, quando o coloca dentro de um copo com glicerina, não consegue mais distingui-lo. Por quê?
4.	Quim deseja mirar um feixe de laser em um satélite artificial quando ele, de binóculos, vê esse satélite na linha do horizonte. Ele deve mirar o laser acima, abaixo ou diretamente onde ele vê o satélite?
5.	Mané está na beirada de uma piscina cheia de água, que tem uma profundidade uniforme. Quando ele olha para o outro lado da piscina, esta lhe parece menos profunda. Por quê?
6.	Em um dia de Sol, Fafá quer fazer um arco-íris usando uma mangueira de jardim. Como ela consegue fazer isso?
7.	Um feixe de luz branca passa através de um prisma de vidro e forma um feixe com todo o espectro visível. É possível fazer uma combinação com outro prisma de forma a voltar a ter um feixe de luz branca?
8.	Quim está projetando um slide em uma tela e resolve cobrir a metade superior da lente. O que ocorre com a imagem projetada na tela?
9.	A. Por que um diamante cintila mais do que uma imitação de vidro cortado na mesma forma? B. Por que o brilho de um diamante aumenta quando o número de faces aumenta?
10.	O diâmetro aparente do Sol subtende um ângulo de visão de $53^\circ$ , quando visto a partir da Terra. A. Quantos minutos o Sol leva para se mover no céu através de um diâmetro solar? B. Como se compara sua resposta com o tempo que o Sol leva desaparecer no poente, depois que a borda inferior atinge a linha do horizonte?

**FÍSICA CONCEITUAL II**  
 Questões do Capítulo 29 – Ondas Luminosas

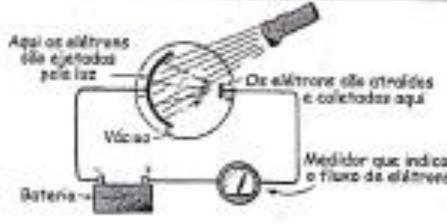
1.	Que forma de transmissão de sinal é menos afetado em "áreas de sombra": AM ou FM? VHF ( <i>very high frequency</i> ) ou UHF ( <i>ultra high frequency</i> )?		
2.	Quem envia um feixe de luz monocromática vermelha sobre um anteparo que tem uma fenda dupla e vê se formar sobre a parede um padrão de interferência, como mostrado na figura. A. A fonte da luz monocromática pode ser uma lâmpada de gás ou tem de ser um laser? B. Se Quem enviar um feixe de um laser em uma fenda e o feixe de outro laser igual ao anterior na outra fenda, ele consegue formar o padrão de interferência? C. Depois, ele troca o feixe de luz vermelha por outro de luz verde. A distância entre as franjas desse padrão de interferência é maior, menor ou igual ao anterior?		
	3.	Uma mancha de óleo se espalhou no mar e é vista com cor amarela por observadores que estão diretamente acima, em um avião. De que cor é essa mancha para um mergulhador que está diretamente abaixo?	
	4.	Em postos de gasolina é normal se ver manchas coloridas que aparecem quando óleo ou gasolina cai no chão molhado. A. O que produz esse espectro colorido? B. Por que esse espectro é formado por anéis completos de uma única cor? C. Por que esse espectro não aparece se o chão estiver seco? D. Por que nas cores desse espectro não costuma aparecer o verde?	
5.	As ondas de rádio são quase sempre polarizadas e a luz visível é quase sempre não polarizada. Por quê?		
6.	Luz do Sol incide sobre dois polarizadores com orientações perpendiculares de forma que nenhuma luz atravessa-os. Um terceiro polarizador é colocado entre eles e alguma luz consegue atravessar o conjunto constituído pelos três polarizadores. Explique porque isso acontece.		
7.	Relacione os objetos coloridos da coluna da esquerda com a maneira de se produzir cores da coluna da direita. Explique, em cada caso, como isso acontece. <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;">                     I. Azul-celeste                      II. Bolha de sabão                      III. Narciso amarelo (uma flor)                      IV. Lado refletor de um CD                      V. Arco-íris                 </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;">                     A. Rede de difração                      B. Espalhamento                      C. Interferência                      D. Refração com dispersão                      E. Reflexão seletiva                 </td> </tr> </table>	I. Azul-celeste II. Bolha de sabão III. Narciso amarelo (uma flor) IV. Lado refletor de um CD V. Arco-íris	A. Rede de difração B. Espalhamento C. Interferência D. Refração com dispersão E. Reflexão seletiva
I. Azul-celeste II. Bolha de sabão III. Narciso amarelo (uma flor) IV. Lado refletor de um CD V. Arco-íris	A. Rede de difração B. Espalhamento C. Interferência D. Refração com dispersão E. Reflexão seletiva		

## FÍSICA CONCEITUAL II

### Questões do Capítulo 30 – Emissão de Luz

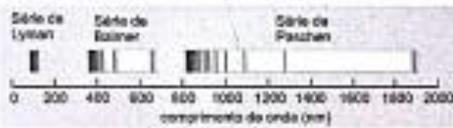
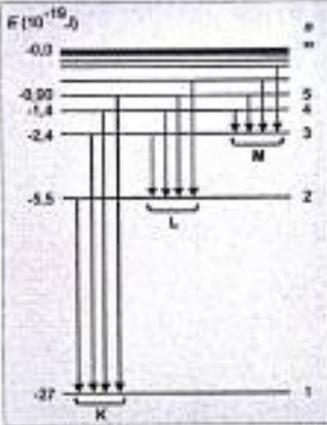
1.	Que semelhança e que diferença um astrônomo enxerga entre o espectro de emissão de um elemento em uma estrela que se está afastando e um espectro de emissão do mesmo elemento obtido em laboratório?
2.	Uma lâmpada de gás emite no vermelho e outra, também de gás, emite no azul. A temperatura dos gases dessas duas lâmpadas é praticamente a mesma. No entanto, uma estrela quente azul é cerca de duas vezes mais quente do que uma estrela vermelha. Qual é a explicação para isso?
3.	O filamento de uma lâmpada é feito de tungstênio. Quando a luz vinda dessa lâmpada incandescente é vista através de um espectroscópio, o espectro obtido é contínuo ou é o espectro de linhas do tungstênio?
4.	Uma vez que um gás reemite a luz por ele absorvida, por que existem linhas escuras em seu espectro de absorção? Isto é, por que a luz reemitida simplesmente não preenche os lugares escuros?
5.	Se os átomos de uma dada substância absorvem luz ultravioleta e emitem luz vermelha, em que é convertida a energia que está "faltando"?
6.	A. A luz proveniente de uma fonte incandescente atravessa o vapor de sódio e, então, é analisada em um espectroscópio. Qual é a aparência do espectro? B. A fonte incandescente é desligada e o sódio é aquecido até começar a brilhar. Como se compara o espectro do sódio brilhante com o espectro previamente observado?
7.	Como se comparam as temperaturas superficiais de estrelas vermelhas, azuis e brancas?
8.	A. No funcionamento de um laser de hélio-neônio, por que é importante que o estado metaestável do hélio seja de "vida" relativamente longa? B. E por que é importante que esse estado metaestável se iguale aproximadamente ao nível de energia de um estado metaestável mais difícil de alcançar do neônio?
9.	Esboce a curva de radiação (Fig.30.7 do livro) e o respectivo padrão espectral, produzido por um espectroscópio, (Fig.30.5 do livro) para: A. um sólido incandescente. B. um gás excitado. C. um gás frio que se encontra entre uma fonte incandescente e o observador. D. uma fonte incandescente como visto através de um vidro verde.

**FÍSICA CONCEITUAL II**  
 Questões do Capítulo 31 – Os Quanta de Luz

1.	Segundo o modelo para a luz descrito no Cap.26 do livro, qual é a <b>velocidade de um fóton</b> de um feixe de luz que se propaga em um vidro que tenha índice de refração de 1,5?
2.	<p>A figura mostra o fragmento de filme 35 mm, onde se podem ver 2 fotogramas (imagens), as perfurações (4 de cada lado para cada fotograma) e a pista de som óptico (as linhas sinuosas em branco e preto entre os fotogramas e as perfurações da esquerda). A luz incide nos fotogramas e na pista de som, mas a que incide nessa pista é bloqueada por uma superfície metálica colocada atrás do filme. Qual é o princípio físico envolvido na sonorização desse tipo de filme?</p> 
3.	<p>A figura mostra uma placa fotossensível iluminada com luz monocromática azul. Verifica-se que, com a incidência de luz na placa, aparece uma corrente elétrica no amperímetro.</p> <p>A. Como varia a corrente elétrica no amperímetro se a placa é iluminada com luz</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>de mesma cor mas maior intensidade?</li> <li>de mesma intensidade (<math>W/m^2</math>) mas com a cor violeta?</li> </ol> <p>B. Verifica-se também que, invertendo-se os pólos da bateria, a corrente elétrica no amperímetro permanece com o mesmo sentido de antes se a diferença de potencial for menor que um certo valor <math>U_0</math>. Explique!</p> 
4.	O efeito fotoelétrico prova que a luz é formada por partículas? Os experimentos de interferência provam que a luz é composta por ondas?
5.	A explicação de Einstein para o efeito fotoelétrico torna inválida a explicação de Young para o experimento da fenda dupla?
6.	Quando um fóton colide com um elétron, o que acontece com a frequência do fóton após ter "ricocheteado" no elétron?
7.	<p>A. Um feixe de prótons em um "microscópio protônico" exibiria mais ou menos difração do que elétrons com a mesma rapidez em um microscópio eletrônico?</p> <p>B. Qual deles tem maior poder de resolução (relacionado com a menor distância entre dois pontos para que eles apareçam individualizados)?</p>
8.	<p>A. Qual é o comprimento de onda de de Broglie para um elétron que colide na face interna de uma tela de TV com uma rapidez igual a 1/10 da rapidez de propagação da luz no vácuo?</p> <p>B. Quem decide rolar uma bola de ping-pong através do piso tão lentamente que ela terá um momentum muito pequeno e, portanto, ele esperava um grande comprimento de onda de de Broglie. Ele consegue perceber o caráter ondulatório dessa bola?</p>

## FÍSICA CONCEITUAL II

### Questões do Capítulo 32 – O Átomo e o Quantum

1.	<p>O princípio da combinação de Ritz estabelece que as linhas espectrais de um elemento qualquer incluem frequências que são ou a soma ou a diferença das frequências de duas outras linhas. Explique porque isso ocorre.</p>
2.	<p>O espectro de emissão de luz do átomo de hidrogênio apresenta três séries espectrais conhecidas como séries de Lyman, Balmer e Paschen.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div> <p>Na figura acima, estão representadas as linhas espectrais que formam essas três séries. Na figura da direita, está representado o diagrama de níveis de energia do átomo de hidrogênio. À direita de cada nível, está indicado seu índice <math>n</math>, à esquerda, o valor de sua energia. Nessa figura, as setas indicam algumas transições atômicas, que estão agrupadas em três conjuntos – K, L e M –, cada um associado a uma das três séries espectrais.</p> <p>A. Qual dos conjuntos – K, L ou M –, representados na figura da direita, corresponde à série de Paschen?</p> <p>B. Quem ilumina um tubo que contém átomos de hidrogênio com três feixes de luz, cujos fótons têm energias <math>18,2 \times 10^{-19} \text{ J}</math>, <math>21,5 \times 10^{-19} \text{ J}</math> e <math>23,0 \times 10^{-19} \text{ J}</math>. Qual (quais) desses três feixes pode (podem) ser absorvido(s) pelos átomos de hidrogênio?</p>
3.	Qual é o átomo que, no estado fundamental, tem menor tamanho e qual tem maior tamanho: o átomo de néon ${}_{10}^{20}\text{Ne}$ , o de sódio ${}_{11}^{23}\text{Na}$ ou o de magnésio ${}_{12}^{24}\text{Mg}$ ?
4.	Por que os átomos que possuem o mesmo número de camadas eletrônicas decrescem em tamanho com o aumento do número atômico?
5.	Em uma experiência de difração através de uma única fenda, se nota que 5% dos fótons enviados incidiram em uma certa região. A seguir, se abre uma fenda paralela à anterior e se envia um feixe com mesmo número de fótons que difrata nessas duas fendas. Se verifica que agora nenhum fóton incidia na região onde antes chegavam 5% deles. Se essas medidas se referem a fótons que estão incidindo ou não, como a mecânica quântica explica isso?
6.	Por que as linhas espectrais frequentemente são consideradas como “impressões digitais atômicas”?
7.	<p>Quanto mais alta for a energia de um nível ocupado por um elétron em um átomo de hidrogênio, “maior” será o átomo. O raio do átomo é proporcional a <math>n^2</math>, onde <math>n = 1</math> corresponde ao estado fundamental, <math>n = 2</math> ao segundo estado, e assim por diante.</p> <p>A. Se o diâmetro do átomo for igual <math>1 \times 10^{-10} \text{ m}</math> em seu estado de mais baixa energia, qual será seu diâmetro correspondente ao estado de número 10?</p> <p>B. Quantos átomos não-excitados poderiam caber dentro deste átomo gigante?</p>
8.	<p>Podemos definir o “zero” da energia de um átomo de hidrogênio como sendo a energia do estado “fundamental”. As energias correspondentes aos sucessivos estados excitados acima do estado fundamental são proporcionais a <math>[1 - (1/n^2)]</math>, para os números quânticos <math>n = 1, 2, 3</math>, etc.</p> <p>A. Esboce um diagrama, aproximadamente em escala, que inclua o estado fundamental e os quatro estados excitados mais baixos.</p> <p>B. A linha vermelha mais proeminente do espectro do hidrogênio é produzida pela transição eletrônica do estado 3 para o estado 2. A transição de 4 para 3 produz uma linha espectral correspondente a uma frequência mais alta ou mais baixa? E quanto à transição de 2 para 1?</p>

## FÍSICA CONCEITUAL II

### Questões do Capítulo 33 – *O Núcleo Atômico e a Radioatividade*

Se necessário, consulte a tabela periódica na página 206 do livro.

1.	Por que uma amostra de material radioativo sempre está um pouco mais quente do que sua vizinhança?
2.	Feixes de partículas $\alpha$ e $\beta^+$ (pósitron) são acelerados pela mesma diferença de potencial e penetram em uma região que tem um campo magnético uniforme perpendicular à direção do feixe. Qual vai ter maior deflexão?
3.	A. O hélio usado para encher balões é um produto do decaimento radioativo. Como? B. A quantidade de hélio presente na atmosfera é muito menor do que a liberada por esses decaimentos. Por quê?
4.	Os dois únicos nuclídeos estáveis com mais prótons do que nêutrons são o hidrogênio ( $^1_1\text{H}$ ) e o hélio 3 ( $^3_2\text{He}$ ). Por que isso é tão incomum?
5.	Identifique o nuclídeo X ou partícula x que está faltando ( $\nu$ é um neutrino): A. $^7_3\text{X} \rightarrow ^{60}_{28}\text{Ni} + \gamma$ B. $^7_3\text{X} \rightarrow ^{55}_{26}\text{Fe} + \beta^- + \nu$ C. $^{100}_{48}\text{Cd} + ^7_3\text{x} \rightarrow ^{107}_{47}\text{Ag} + \nu$ D. $^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow ^7_3\text{X} + ^7_3\text{e}$ E. $^{209}_{84}\text{Po} \rightarrow ^{205}_{82}\text{Pb} + ^7_3\text{x}$ F. $^{14}_7\text{N} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^7_3\text{X} + ^{17}_8\text{O}$
6.	Visto que o chumbo é um elemento estável, por que a série de decaimentos do $^{238}_{92}\text{U}$ não termina no $^{212}_{82}\text{Pb}$ ? Ver figura 33.13.
7.	Logo após uma partícula alfa sair do núcleo, que tipo de movimento ela tem: com velocidade constante ( $a = 0$ ), acelerado ( $a > 0$ ) ou desacelerado ( $a < 0$ )?
8.	Se você observa 1.000 pessoas nascidas no ano 2000 e descobre que metade delas ainda estão vivas em 2060, isso significa que um quarto delas ainda estará vivendo em 2120, e um oitavo delas em 2180? O que é diferente entre as taxas de mortalidade de pessoas e as "taxas de mortalidade" de átomos radioativos?
9.	Os elementos acima do urânio na tabela periódica não existem na natureza em quantidades apreciáveis porque eles possuem uma meia-vida muito curta. Embora existam vários elementos com números atômicos menores do que o do urânio, e com meias-vidas igualmente curtas, eles realmente existem na natureza em quantidades apreciáveis. Como você pode explicar isso?

### Questões do Capítulo 34 – *Fissão e Fusão Nucleares*

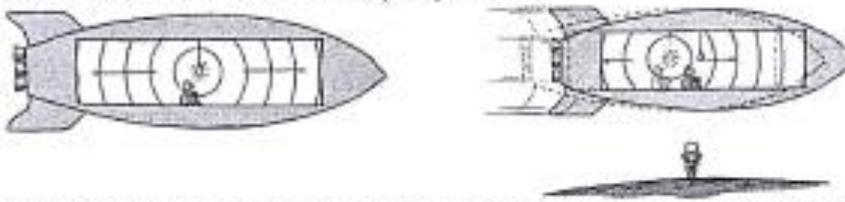
1.	Por que não ocorrem reações em cadeia em minas de urânio?
2.	Que forma provavelmente necessitará de mais material para ter uma massa crítica: uma chapa ou uma esfera? Explique.
3.	Se prótons e nêutrons isolados possuem massas maiores do que 1,00000 u, então por que os 12 deles existentes em um núcleo de carbono não possuem uma massa maior do que 12,0000 u?
4.	A temperatura do centro de uma estrela aumenta ou diminui como resultado da fusão de elementos intermediários, para gerar elementos mais pesados do que o Fe?
5.	Uma importante reação de fusão, tanto em bombas de hidrogênio como em reatores de fusão, é a "reação DT", na qual um deuteron (núcleo do deutério - ${}^2_1H$ ) e um trítion (núcleo do trítio - ${}^3_1H$ ) se combinam, formando uma partícula alfa e um nêutron, e liberando muita energia. Por que o nêutron resultante desta reação fica com cerca de 80% da energia, enquanto a partícula alfa fica com apenas 20% dela?
6.	Qual é a principal semelhança entre as reações de fissão e de fusão? E quais são as principais diferenças entre elas?
7.	O que produz mais energia: A. a fissão de um único núcleo de urânio ou a fusão de um par de núcleos de deutério? B. a fissão de uma grama de urânio ou a fusão de uma grama de deutério?
8.	Quais destas leis de conservação aplicam-se a todas as reações nucleares: i. conservação da carga; ii. conservação da massa; iii. conservação da energia total; iv. conservação do momento linear; v. conservação do número total de núcleons.

## FÍSICA CONCEITUAL II

### Questões do Capítulo 35 – *A Teoria Especial da Relatividade - I*

Observação – a fórmula de adição de velocidades da página 609 da 9ª edição do livro está errada,

a forma correta é:  $V = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}$

1.	<p>Mané está em Macapá, sob a linha do equador, e olha para uma estrela que, à meia-noite, está exatamente sobre sua cabeça. No dia seguinte, à meia-noite, ele repara que a mesma estrela está de novo sobre sua cabeça, ou seja, ela deu uma volta completa em torno da Terra.</p> <p>A. Supondo que a estrela esteja a 10 anos-luz da Terra, determine a velocidade da estrela com relação a Mané (dê resposta em unidades de <math>c</math>, a velocidade da luz).</p> <p>B. Seu resultado contradiz a relatividade especial?</p>
2.	<p>A figura da esquerda mostra Quim em uma nave espacial que tem uma lâmpada que emite pulsos de luz e a da direita mostra Fafá observando a passagem da nave.</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>Como a lâmpada está bem no centro da nave, Quim vê os pulsos atingirem a parte frontal e traseira da nave no mesmo instante, mas Fafá vê os pulsos chegarem primeiro na parte traseira. Explique porque isso ocorre.</p>
3.	<p>Fafá está monitorando Quim que está viajando numa nave espacial que se afasta da Terra a uma velocidade próxima à da luz.</p> <p>A. Que mudanças Quim nota em sua pulsação? E em seu volume?</p> <p>B. Que mudanças Fafá nota na pulsação de Quim? E em seu volume?</p> <p>C. Quim, da nave, também está monitorando Fafá que está na Terra. Que mudanças ele nota na pulsação dela? E em seu volume?</p>
<p>Resolva a próxima questão sem utilização das fórmulas da transformação de Lorentz ou do efeito Doppler, usando somente os postulados da teoria especial da relatividade. Nessas questões, imagine um universo em que a velocidade da luz seja <math>c = 30 \text{ m/s}</math> em qualquer referencial inercial<sup>1</sup>.</p>	
4.	<p>Mané está dentro de um trem que viaja com a velocidade <math>v = 20 \text{ m/s}</math> e Fafá está parada na estação, vendo o trem passar.</p> <p>A. Um fecho de luz sai do chão, reflete em um espelho no teto, à altura <math>h = 3,0 \text{ m}</math>, e volta.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>i. Quanto tempo se passa para Mané na subida e descida do fecho de luz?</li> <li>ii. E para Fafá?</li> <li>iii. Determine a relação entre os tempos no referencial de Fafá e no de Mané.</li> </ol> <p>B. Outro fecho de luz sai do fundo do vagão e reflete em um espelho colocado na parte frontal, à distância <math>D = 15 \text{ m}</math>.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>i. Quanto tempo se passa para Mané na ida e volta do fecho de luz?</li> <li>ii. Usando a mesma relação entre os tempos da letra A, determine esse tempo para Fafá.</li> </ol> <p>C. Suponha que, para Fafá, o comprimento do vagão seja <math>L</math>.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>i. Determine o tempo de ida do fecho de luz medido por Fafá em termos do comprimento <math>L</math>.</li> <li>ii. Faça o mesmo para o tempo de volta.</li> <li>iii. Iguale a soma desses dois tempos com o tempo de ida e volta calculado no item B.ii e determine o valor de <math>L</math>, o comprimento do vagão medido por Fafá.</li> </ol>

## FÍSICA CONCEITUAL II

### Questões do Capítulo 35 – *A Teoria Especial da Relatividade - II*

Observação – a fórmula de adição de velocidades da página 609 da 9ª edição do livro está errada,

$$\text{a forma correta é: } V = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}$$

1.	Dois eventos ocorrem no mesmo ponto do espaço em um dado sistema de referência inercial e são simultâneos com relação a ele. É possível que eles não sejam simultâneos em relação a outro sistema de referência inercial?
2.	Poderia um ser humano, que tem uma expectativa de vida de 70 anos, realizar uma jornada de ida e volta a uma estrela a mais de 70 anos-luz de distância? Explique.
3.	A partícula $\mu^+$ (múon) tem uma vida média de $2,2 \times 10^{-6}$ s. Se essa partícula se desloca com velocidade de $0,9c$ em relação ao laboratório, A. qual é sua vida média em relação ao laboratório? B. qual é a distância média que essa partícula percorre em relação ao laboratório?
4.	Quem envia um feixe de laser para um espelho que está se afastando dele. De que forma a luz refletida é diferente da luz incidente e de que forma elas são iguais?
5.	A <i>Enterprise</i> , se aproximando da Terra à velocidade de $0,8c$ , envia duas pequenas naves que se movem com a velocidade de $0,5c$ com relação a ela: uma para a frente e outra para trás. Quais são as velocidades dessas naves com relação à Terra?
6.	Se partículas sem massa têm velocidade $c$ em um referencial, elas podem ter velocidade diferente de $c$ em outro referencial?
7.	Faís afirma que a velocidade de qualquer partícula que tenha massa é sempre menor do que a velocidade da luz e toda partícula sem massa sempre se desloca com velocidade exatamente igual à velocidade da luz. Ela está correta? Se estiver, como pode uma partícula sem massa adquirir essa velocidade? Ela parte do repouso e acelera até atingir essa velocidade?
8.	O principal processo de produção de energia na superfície do Sol resulta da fusão de átomos de hidrogênio para formar átomos de hélio. De uma forma bem simplificada, esse processo pode ser descrito como a fusão de quatro átomos de hidrogênio ( $m_H = 1,67 \times 10^{-27}$ kg) para formar um átomo de hélio ( $m_{He} = 6,65 \times 10^{-27}$ kg). A. Se o Sol irradia energia a uma taxa de aproximadamente $4 \times 10^{26}$ W, estime quantas reações desse tipo ocorrem a cada segundo. B. Calcule a perda de massa do Sol por dia.
9.	Um observador se aproxima com velocidade $u$ de uma fonte que emite ondas eletromagnéticas com frequência $f_0$ . Ele recebe essas ondas com uma frequência $f$ dada por $f = f_0 \sqrt{\frac{1+u/c}{1-u/c}}$ Seu Zé foi multado por ter avançado um sinal vermelho ( $f_{vermelha} = 4,6 \times 10^{14}$ Hz) e entrou com um recurso dizendo que, devido a sua velocidade, o sinal lhe pareceu verde ( $f_{verde} = 5,5 \times 10^{14}$ Hz). A que velocidade Seu Zé deveria estar para isso acontecer?

## FÍSICA CONCEITUAL II

### Questões do Capítulo 36 – A Teoria Geral da Relatividade

1.	Um avião viaja a 10.000 m de altitude. Um relógio nesse avião adianta, atrasa ou fica no mesmo ritmo que um relógio na Terra?
2.	É rigorosamente correto dizer que um feixe de laser fornece uma linha perfeitamente reta para fins de levantamento topográfico?
3.	A. Quem tem medo de envelhecer deve ir morar em Macapá – no nível do mar, perto do equador – ou se esfumar na estação brasileira na Antártida? B. Essa pessoa consegue realmente viver mais?
4.	A luz muda sua energia quando “cai” em um campo gravitacional. Isso significa que sua velocidade é alterada?
5.	Qual é a diferença na cor de uma estrela vista por um observador que está bem próximo a ela e por outro que está distante?
6.	Quim está na parte da frente de um trem que está aumentando sua velocidade. Mané, do fundo do trem, envia um feixe de luz verde na direção de Quim. Este vai ver a luz avermelhada, azulada ou exatamente da mesma cor?
7.	A figura mostra duas régua de mesmo comprimento colocadas sobre um disco – a régua K está orientada ao longo do raio, mas a régua L não. Explique o que ocorre com o comprimento dessas régua – aumenta, diminui ou permanece o mesmo – quando o disco é colocado a girar para A. Fafá que está no ponto P, fora do disco. B. Mané que está no ponto O, no centro do disco.
8.	A. Por que varia a atração gravitacional entre o Sol e Mercúrio? B. Isso ocorreria se a órbita de Mercúrio fosse perfeitamente circular?

